

ATHOS GLEBER PEREIRA

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM EDITOR
PARA PROGRAMAÇÃO CN EM CENTROS DE
USINAGEM**

Dissertação apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Mestre em Engenharia
Mecânica, Curso de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dalberto Dias da Costa

Curitiba

2003

TERMO DE APROVAÇÃO

ATHOS GLEBER PEREIRA

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM EDITOR PARA PROGRAMAÇÃO CN EM CENTROS DE USINAGEM

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador: _____
Prof. Dr. Dalberto Dias da Costa

Prof. Dr. Nivaldo Lemos Coppini

Prof. Dr. Osíris Canciglieri Jr.

Curitiba, 02 de maio de 2003

AGRADECIMENTOS

A elaboração de uma dissertação apesar de parecer um trabalho solitário, definitivamente não o é. Seria uma injustiça creditar os resultados somente a quem assina. Certamente, se este trabalho teve êxito, deveu-se à valiosa colaboração e dedicação de muitas pessoas que merecem aqui ser lembradas:

A começar por Deus por permitir-me à vida, força e vontade necessários para levar este trabalho até o fim.

Aos meus pais Prof. Jadyr e Arlete que me deram a base educacional para que eu pudesse aqui chegar.

A minha família, Josiane, Andrey e Aleksandr que compreenderam a minha ausência em tantas noites e finais de semana.

Ao meu orientador Prof. Dr. Dalberto Dias da Costa pelo incentivo durante a elaboração dessa dissertação e pela confiança e apoio nos momentos decisivos.

Aos colegas que gastaram tantas horas discutindo, estudando juntos, criticando, revendo textos e estimulando; particularmente ao Mauro e em especial ao Ademir que desempenhou papel fundamental neste trabalho.

Aos professores, secretários, técnicos do Departamento de Engenharia Mecânica que sempre e em tudo colaboraram.

A todos estes e aqueles que não foram citados, mas não foram esquecidos, dedico a esperança de que este trabalho não tenha sido em vão e de que bons frutos venham a ser colhidos dele.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	vi
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVO.....	4
1.3 METAS	4
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	4
COMANDO NUMÉRICO	6
2.1 O QUE É COMANDO NUMÉRICO	6
2.2 HISTÓRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO COMANDO NUMÉRICO	6
2.3 FRESADORAS CNC	12
2.4 DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE USINAGEM	17
2.4.1 PROGRAMAÇÃO MANUAL	20
2.4.2 CAD/CAM E CNC	21
2.4.3 SISTEMAS INTEGRADOS DE FABRICAÇÃO	22
2.5 ESTRUTURA DE UM PROGRAMA CNC	23
2.6 ESCRIVENDO UM PROGRAMA CNC	28
2.7 INTERFACES	29
2.8 LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	35
2.9 PÓS-PROCESSADORES	38
PROPOSTA DE UM EDITOR/SIMULADOR CNC	40
3.1 ANÁLISE DO AMBIENTE DE INTERFACE PROPOSTO	40
3.2 A INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR	41
3.3 USABILIDADE DO SISTEMA	43

3.4 PROCESSO DE DESIGN DA INTERFACE	43
3.5 TECNOLOGIA DE FEATURES	44
METODOLOGIA DO PROJETO	52
4.1 IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO	52
4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO	52
4.2.1 ESTRUTURA FUNCIONAL DO EDITOR/SIMULADOR	53
4.2.2 OPERAÇÃO DO SOFTWARE	54
4.2.3 FUNÇÕES PRINCIPAIS.....	59
4.2.4 FUNÇÕES MISCELÂNEAS.....	74
4.2.5 FUNÇÕES AUXILIARES	76
4.2.6 UTILIZAÇÃO DO MÓDULO DE SIMULAÇÃO	80
4.2.7 UTILIZAÇÃO DO MÓDULO DE COMUNICAÇÃO COM O CENTRO DE USINAGEM	81
4.3 AVALIAÇÃO PRÁTICA DO PROTÓTIPO	83
4.4 AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO EM CHÃO DE FÁBRICA	89
RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO.....	97
5.1 RESULTADOS OBTIDOS NO TREINAMENTO	97
5.2 RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES NAS EMPRESAS	99
CONCLUSÕES	104
6.1 CONCLUSÕES	104
6.2 TRABALHOS FUTUROS	105
REFERENCIAS	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Representação esquemática de uma fresadora CNC vertical	13
Figura 2.2	Representação esquemática de uma fresadora CNC horizontal	13
Figura 2.3	Sistemas de coordenadas perpendiculares	15
Figura 2.4	Orientação dos planos em centros de usinagem verticais	15
Figura 2.5	Disposição dos eixos em centros de usinagem verticais	16
Figura 2.6	Configuração do cabo de comunicação entre CNC e computador	33
Figura 2.7	Superfícies de comando e verificação de um fresamento.....	35
Figura 3.1	Painel de comando da Discovery4022	40
Figura 4.1	Fluxograma de informações	49
Figura 4.2	Módulo de edição.....	52
Figura 4.3	Botões de acesso aos módulos do programa.....	53
Figura 4.4	Preenchimento da caixa de diálogo Novo Programa.....	53
Figura 4.5	Programa aberto na tela do editor	54
Figura 4.6	Formulário de acesso às funções.....	55
Figura 4.7	Formulário de funções.....	56
Figura 4.8	Feature de posicionamento em rápido.....	56
Figura 4.9	Feature de posicionamento linear com avanço de trabalho	57
Figura 4.10	Tela para programação de interpolação circular anti-horária.....	58
Figura 4.11	Feature arco tangente	59
Figura 4.12	Compensação de raio de ferramenta	59
Figura 4.13	Ciclo fixo de furação	60
Figura 4.14	Ciclo fixo de furação com permanência	61
Figura 4.15	Ciclo fixo de furação com descarga	62
Figura 4.16	Ciclo fixo de roscar	63
Figura 4.17	Ciclo fixo de mandrilamento	64
Figura 4.18	Ciclo fixo de mandrilamento com retração de eixo parado	65
Figura 4.19	Feature de espelhamento de eixo	66
Figura 4.20	Feature escala	66

Figura 4.21	Feature para fresamento de alojamentos retangulares, quadrados ou circulares.....	67
Figura 4.22	Corretor de fixação	68
Figura 4.23	Tempo de permanência	69
Figura 4.24	Rotação do sistema de coordenadas	69
Figura 4.25	Tela de programação das funções miscelâneas	70
Figura 4.26	Tela de programação das funções auxiliares	73
Figura 4.27	Repetição de bloco	73
Figura 4.28	Desvio para sub rotina	74
Figura 4.29	Programação de dados de ferramenta	75
Figura 4.30	Corretor de ferramentas	75
Figura 4.31	Tela de simulação	76
Figura 4.32	Tela de comunicação comando numérico – micro-computador.....	78
Figura 4.33	Peça para exemplo de utilização do editor protótipo para programas CNC	79
Figura 4.34	Preenchendo o cabeçalho do programa	80
Figura 4.35	Informando ao sistema os corretores de ferramenta.....	80
Figura 4.36	Informações sobre as condições de usinagem	81
Figura 4.37	Tela do simulador	83
Figura 4.38	Resultado do teste prático após a usinagem	84
Figura 4.39	Garfo	87
Figura 4.40	Carcaça	89
Figura 4.41	Tampa	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1	Custo de aquisição para softwares de CAM – módulo fresamento ...	2
Tabela 5.1	Tempos das operações para um programa manual – empresa A	94
Tabela 5.2	Tempos das operações para um programa feito com auxílio do protótipo – empresa A	94
Tabela 5.3	Tempos das operações para um programa escrito manualmente – empresa B	95
Tabela 5.4	Tempos das operações para um programa feito com auxílio do protótipo – empresa B	95
Tabela 5.5	Tempos das operações para um programa escrito manualmente – empresa C	96
Tabela 5.6	Tempos das operações para um programa feito com auxílio do protótipo – empresa C	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIGLA	INGLÊS	PORTUGUÊS
AC	Adaptative Control	Controle adaptativo
AI	Artificial Intelligence	Inteligência Artificial
API	Windows Application Programming Interface	Interface para programação em Windows
APT	Automatically Programmed Tool	Ferramenta programada automaticamente
ASCII	American National Standard Code for Information Interchange, ANSI X3.4-1968	Padrão nacional americano de código para intercâmbio de informação.
AUTOPROMPT	Automatic Programming of Machine Tools	Programação automática de máquinas ferramenta
BASIC	Begginers All-Purpose Symbolic Instruction Code	Linguagem de programação basic
BCL	Binary Cutter Location Data	Dados binários de localização de ferramenta Norma ANSI/EIA RS 494
BER	Bit Error Rate	Taxa de bits com erro
BIT	Binary Digit	Digito binário
CAD	Computer Aided Design	Desenho auxiliado por computador
CAE	Computer Aided Engineering	Engenharia auxiliada por computador
CAM	Computer Aided Manufacturing	Manufatura auxiliada por computador
CIM	Computer Integrated Manufacturing	Manufatura integrada por computador
CN	Numerical Control	Controle numérico
CNC	Computerized Numerical Control	Controle numérico computadorizado
CPU	Central Processor Unit	Unidade de processamento central
DB	Data Base	Base de dados

DCI	Data Communication Interface	Interface de comunicação de dados.
DNC	Distributed Numerical Control	Comando numérico distribuído
DOS	Disk Operating System	Sistema operacional de disco
EOB	End Of Block	Final de bloco
EDM	Electrical Discharge Machine	Usinagem por descarga elétrica
HSC	High Speed Cutting	Usinagem à alta velocidade
IGES	Initial Graphics Exchange Specification	Especificação inicial de troca de dados gráficos – ANSI Y14.26M
IHC		Interface Humano-Computador
OS	Operating System	Sistema operacional
PAL		Aplicações Lógicas Programáveis
PC	Personal computer	Computador pessoal
SLT	Solid Logic Technology	Chips de estado sólido
SQL	Structured Query Language	Linguagem estruturada de pesquisa de DB
STEP	Standard for Exchange of Product Model Data	Padrão para transferência de dados de produto
TAF		Troca Automática de ferramenta
VB	Visual Basic	Linguagem de programação

RESUMO

O processo de globalização pelo qual se está passando desafia a indústria da manufatura a trazer para o mercado novos produtos bem projetados e de alta qualidade a preços competitivos no menor intervalo de tempo possível.

Na área de usinagem, o desenvolvimento de novas geometrias e novos materiais para a fabricação de ferramentas, associado a novos projetos de máquinas-ferramenta, como por exemplo, as máquinas HSC (High Speed Cutting), abreviaram radicalmente os tempos diretos de processo.

No caso específico das máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado), o fator tempo de processo é reduzido substancialmente pela eliminação dos tempos improdutivos, como por exemplo à tarefa de elaborar programas de usinagem e a alta versatilidade englobando várias operações em uma só máquina, diminuindo ainda mais os tempos mortos intermediários. Reduzir tais tempos tornou-se, portanto, uma tarefa imposta pelas circunstâncias reinantes em qualquer indústria moderna. Este trabalho tem como objetivo abranger este problema através do desenvolvimento de um sistema para edição e simulação de programas CNC específico para ambientes de manufatura semi integrado, utilizando linguagem técnica com interface amigável e interativa, rodando em ambiente Windows. O programa foi desenvolvido em Visual Basic e foi dividido em três módulos funcionais: editor, simulador de trajetória de ferramenta e transmissor para se efetuar a transferência do programa de usinagem do PC para a máquina CNC. O programa foi testado em ambiente fabril em simulação e usinagem de peças, gerando o código corretamente, com um nível de detalhamento na simulação superior ao do comando da máquina o que permitiu concluir que o protótipo apresentado poderá desempenhar um papel importante na tarefa de redução de tempos manuais em programação CNC.

Palavras-Chave: Usinagem, CNC, Simulação, CAM

ABSTRACT

The globalization's process that we are passing challenges manufacturing industries to produce new products with a good design, high quality and competitive prices in a short time of production.

In the machining area, the development of tools new geometries and materials, associated to machines tool new projects like High Speed Cutting machines decrease the direct times of the process.

In the specific case of numerical control machines, the factor process time is decreased by elimination of manual tasks where the operator is called to intervene and the high versatility of NC machines that can realize several machining operations in only one machine. To decrease this dead time becomes a goal in any modern industry. The goal of this dissertation is to cover this problem through development of a system to edit and simulate NC part programs specifically to manufacturing semi-integrated environments, using technical language, friendly interface in a Windows environment. The program was developed in Visual Basic language and was divided in three functional modules: first module is the editor, second module is to simulate the tool path and the last is the transmitter module to send the NC program from PC to NC buffer machine.

The program was tested in manufacturing environment to simulate NC part programs and machining real pieces producing correct NC codes with simulate details level superior than the command of the machine. We concluded that the prototype presented here would be able to carry out an important role in the task of to decrease a manual time to prepare NC part programs

Keywords: CNC Programming, Machining; Simulation, CAM

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 – APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O processo de globalização pelo qual está se passando desafia a indústria da manufatura a trazer para o mercado novos produtos bem projetados e de alta qualidade a preços competitivos no menor intervalo de tempo possível (Porter90), (Coutinho *et.al.*95).

Na área de usinagem, o desenvolvimento de novas geometrias e novos materiais para a fabricação de ferramentas, associado a novos projetos de máquinas-ferramenta, como por exemplo, as máquinas HSC (High Speed Cutting), abreviaram radicalmente os tempos diretos de processo.

No caso específico das máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado), o fator tempo de processo é reduzido substancialmente pela eliminação dos tempos improdutivos, como por exemplo à tarefa de elaborar programas de usinagem e a alta versatilidade destas máquinas que englobam várias operações em uma só máquina o que diminuí ainda mais os tempos mortos intermediários (Mastelari96).

Quanto à tarefa de elaboração de programas de usinagem CNC, que está embutida dentro dos custos indiretos de produção, é um trabalho demorado com grau de dificuldade proporcional à complexidade da geometria da peça exigindo, primeiramente, uma fase de estudo e elaboração do programa propriamente dito e uma segunda fase para a introdução do programa na memória da máquina, testes e simulação.

Nesta segunda fase, em ambientes onde a manufatura não é integrada, associa-se ao custo indireto de elaboração do programa a necessidade de manter-se a máquina parada até o término dos testes com o programa. Para minimizar este tempo de máquina parada pode-se lançar mão de uma técnica de integração da manufatura com relação ao desenvolvimento de projeto através de um sistema CAD/CAM (Preston *at.al.*84). Infelizmente, tal sistema tem um alto custo de aquisição (Tabela 1) e demandam uma mão-de-obra altamente especializada, exigindo treinamento e um tempo relativamente longo de aprendizado para o total domínio da ferramenta (Prestam *at.al.*84). Além deste custo de aquisição e treinamento a maioria dos sistemas

CAD/CAM exige que se efetue um contrato de manutenção anual para se ter acesso aos novos lançamentos com as atualizações do software o que também representa um aumento de custos indiretos.

SOFTWARE	MÓDULO	CUSTO DE AQUISIÇÃO EM U\$\$	TREINAMENTO EM HORAS	TREINAMENTO EM U\$\$ POR PARTICIPANTE
MasterCam	Fresamento completo até 3 eixos	18.600,00	40h	260,00
Powermill	Fresamento completo até 5 eixos	23.500,00	40h	950,00
Cymatron	Fresamento completo até 3 eixos	18.500,00	40h	950,00
Catia	CAD e fresamento completo até 3 eixos	27.000,00	96h – CAD	1.000,00 - CAD
			52h - CAM	860,00 - CAM

**TABELA 1.1 – Custo de aquisição para softwares de CAM – módulo de fresamento
(U\$\$ 1 = R\$3,52 em 10/03/03)**

É conhecido, também, que existe um grande número de empresas trabalhando com fluxo de informações baseado em papel (Costa01), que não dispõem de recursos para investimentos e manutenção de um sistema integrado CAD/CAM (por deficiência própria ou da cadeia na qual ela encontra-se inserida). Ainda, que os recursos humanos dessas não são capazes de absorver tais tecnologias. Esta deficiência em recursos humanos treinados foi observada durante curso realizado no laboratório de

usinagem da UFPR e nos testes práticos realizados dentro das empresas, o que será descrito com mais detalhes no capítulo 4.

Uma grande dificuldade para a formação de mão-de-obra especializada na geração de programas de usinagem é a diversidade de modelos de máquinas comercializadas no Brasil. Segundo (Máquinas e Metais99) há 35 empresas comercializando este tipo de máquinas no Brasil oferecendo 124 diferentes modelos. A maioria das empresas que comercializam máquinas CNC oferece treinamento em programação e operação, mas não são todas as empresas que, ao adquirem estas máquinas, enviam seus funcionários para treinamento.

Observa-se também, que a utilização de máquinas CNC vem crescendo no Brasil (Gonçalves01). Em pesquisa publicada na revista Máquinas e Metais em dezembro de 2001 mostra que no intervalo entre 1999 e 2001 houve um aumento de 43,6 % no número de máquinas CNC adquiridas no Brasil a uma média de 6,3 máquinas CNC por empresa. Outro dado interessante desta pesquisa é o predomínio da utilização de máquinas CNC por pequenas empresas (com até 50 empregados). 62% das empresas pesquisadas se encaixam neste nível e são empresas que predominantemente prestam serviços de usinagem para terceiros.

Mais especificamente no caso do Paraná, em pesquisa realizada em um universo de 65 empresas (Costa01) verificou-se a carência de recursos humanos qualificados ocorrendo, apesar do investimento em tecnologia CNC, baixa produtividade devido em parte, ao baixo grau de utilização destas máquinas pela pouca experiência e capacitação dos recursos humanos em lidar com linguagens de programação diferentes. Outro problema é que em grande parte destas empresas os desenhos das peças a serem usinadas estão em papel o que resultaria em um trabalho extra, caso a empresa possuísse um sistema CAD/CAM. Este desenho em papel teria que ser transformado em um arquivo CAD antes de ser enviado ao modulo de CAM. Este tempo despendido para refazer o desenho onde ainda poder-se-ia inserir novos erros poderia ser utilizado para a confecção do programa de usinagem.

Além disso há a evolução tecnológica. Como exemplo desta evolução pode-se citar o comando MACH9MP que equipa os centros de usinagem DISCOVERY 4022. Quando do lançamento deste modelo, vários centros de treinamentos adquiriram tais

máquinas e atualmente, com a mudança do comando para o SINUMERIK a pergunta é o que fazer com as máquinas antigas e o que se deve fazer para suprir o mercado de programadores para os novos tipos de comandos. Para tentar responder a questão acima se têm dois caminhos: pode-se investir em treinamento de pessoal e compatibilizá-los com sofisticação do equipamento ou desenvolverem-se soluções mais simples e baratas. Neste trabalho, é apresentada uma proposta seguindo a segunda opção.

Um outro problema é em relação à ergonomia de alguns comandos CNC. Existe a dificuldade em se digitar programas utilizando o teclado da interface. A posição do teclado é desconfortável o que causa um cansaço físico mesmo para a digitação de programas curtos e as teclas exige um razoável esforço para serem pressionadas

1.2 – OBJETIVO

O objetivo a ser alcançado neste trabalho é elaborar e validar uma ferramenta computacional protótipo a baixo custo para a geração de programas CNC 2 ½ eixos para centros de usinagem tendo como base o comando MACH9MP da ROMI.

1.3 – METAS

Para atingir o objetivo acima definimos as seguintes metas:

- a) Implementar protótipo computacional de um editor/simulador;
- b) Testar o protótipo em ambiente de laboratório;
- c) Selecionar empresas para participar de testes práticos;
- d) Realizar treinamento para programadores designados por estas empresas;
- e) Testar o protótipo em ambiente fabril.

1.4 – ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Este trabalho esta estruturado da seguinte forma:

No capítulo 1 é apresentado os principais obstáculos enfrentados pelos usuários devido a constante evolução e as particularidades de cada comando CNC e ao alto custo de aquisição de sistemas automáticos de programação.

No capítulo 2 é apresentado um embasamento conceitual, descrevendo máquinas CNC e sistemas de programação manual e automática, sendo discutido as vantagens e as desvantagens de uma forma de programação e de outra, bem como a descrição do processo de elaboração de um programa CNC.

No capítulo 3 são apresentadas as bases para a análise de interfaces na área de interação Humano-Computador (IHC) com ênfase a tecnologia de features principalmente as features de usinagem já que, no desenvolvimento do protótipo foi procurado representar as diversas funções de usinagem por meio destas entidades.

No capítulo 4 é apresentado uma descrição detalhada de todas os módulos que compõe o protótipo implementado juntamente com o processo de preenchimento das informações necessárias para a elaboração de programas CNC e as diversas etapas de testes a que a ferramenta foi submetida para a sua validação.

No capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos dos testes práticos realizados no capítulo 4.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido e as propostas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

COMANDO NUMÉRICO

2.1 - O QUE É COMANDO NUMÉRICO

O Comando Numérico (CN) e sua definição mais simples, é que todas as informações geométricas e dimensionais contidas em uma peça, conhecida por meio de desenhos e cotas (números), seriam entendidas e processadas pela máquina CNC, possibilitando a automação da operação. Atualmente, a utilização do Controle Numérico Computadorizado (CNC), é a saída mais apropriada para a solução dos mais complexos problemas de usinagem. Onde anteriormente se exigia uma máquina ou uma ferramenta especial, atualmente é feito com o CNC de uma forma muito simples.

O Comando Numérico Computadorizado (CNC), é um equipamento eletrônico que recebe informações da forma em que a máquina vai realizar uma operação, por meio de linguagem própria, denominado programa CNC, processa essas informações, e devolve-as ao sistema através de impulsos elétricos. Os sinais elétricos são responsáveis pelo acionamento dos motores que darão à máquina os movimentos desejados com todas as características da usinagem, realizando a operação na seqüência programada sem a intervenção do operador.

2.2 – HISTÓRICO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO COMANDO NUMÉRICO

Desde os tempos mais remotos, nas mais antigas civilizações, o homem busca racionalizar e automatizar o seu trabalho por meio de novas técnicas. A automação simplifica todo tipo de trabalho seja ele físico ou mental. O exemplo mais comum da automação do trabalho mental é o uso da calculadora eletrônica. No cotidiano observa-se cada vez mais a automação e a racionalização dos trabalhos físicos em geral. Por exemplo: na agricultura vêem-se novos e sofisticados tratores que substituem a enxada e outros meios de produção. A cada nova geração de novos produtos, observa-se em cada modelo uma evolução que faz com que os esforços físicos e mentais sejam reduzidos. No processo de pesquisa para melhoria dos produtos, aliado ao desenvolvimento dos computadores, foi possível chegar às primeiras máquinas controladas numericamente.

O principal fator que forçou os meios industriais a essa busca foi a segunda guerra mundial. Durante a guerra as necessidades de evolução foram de papel decisivo: necessitava-se de muitos aviões, tanques, barcos, navios, armas, caminhões, etc..., tudo em ritmo elevado de produção e com grande precisão dimensional pois a guerra estava consumindo tudo, inclusive com a mão de obra. Grande parte da mão de obra masculina utilizada pelas fábricas como especializada foi substituída pela feminina o que na época implicava na necessidade de treinamento com reflexos na produtividade e na qualidade. Era o momento certo para se desenvolver máquinas automáticas de grande produção para peças de precisão e que não dependessem da qualidade da mão de obra aplicada. Diante deste desafio iniciou-se o processo de pesquisa onde surgiu a máquina comandada numericamente.

A primeira ação neste sentido surgiu em 1949 no laboratório de Servomecanismo do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), com a união da Força Aérea Norte Americana (U.S. Air Force) e a empresa Parsons Corporation of Traverse City, Michigan (Pressman77) (Machado90). Foi adotada uma fresadora de três eixos, a Hydrotel, da Cincinnati Milling Machine Company como alvo das novas experiências. Os controles e comandos convencionais foram retirados e substituídos pelo comando numérico dotado de leitora de fita de papel perfurado, unidade de processamento de dados e servomecanismo para acionamento dos eixos. Após testes e ajustes a demonstração prática da máquina ocorreu em março de 1952 e o relatório final do novo sistema somente foi publicado em maio de 1953 (Machado90).

Após este período a Força Aérea Norte americana teve um desenvolvimento extraordinário pois as peças complexas e de grande precisão empregadas na fabricação das aeronaves, principalmente os aviões a jato de uso militar, passaram a ser produzidas de forma simples e rápida, reduzindo-se os prazos de entrega do produto desde o projeto até o acabamento final.

A cada ano foi incrementada a aplicação do CNC principalmente na indústria aeronáutica. Em 1956 surgiu o trocador automático de ferramentas, mais tarde em 1958, os equipamentos com comando de posicionamento ponto a ponto com a conseqüente melhora na geração contínua de contornos por este sistema em desenvolvimento (DeGarmo97).

A partir de 1957 houve nos Estados Unidos uma grande corrida na fabricação de máquinas comandadas por CNC pois os industriais investiam até então em adaptações do CNC em máquinas convencionais. Este novo processo foi cada vez mais usado na rotina de manufatura que, a partir deste ano, com todos os benefícios que haviam obtido deste sistema, surgiram novos fabricantes que inclusive já fabricavam seus próprios comandos. Devido ao grande número de fabricantes começaram a surgir os primeiros problemas sendo que o principal foi a falta de uma linguagem única e padronizada (Smid00).

A falta de padronização era bastante sentida em empresas que tivessem mais de uma máquina com comandos fabricados por diferentes fornecedores.

Cada um deles tinha uma linguagem própria com a necessidade de uma equipe técnica especializada para cada tipo de comando o que elevava os custos de fabricação. Em 1958, por intermédio da EIA (Electronic Industries Association), organizou-se estudos no sentido de padronizar os tipos de linguagem. Houve então a padronização de entrada conforme padrão RS-244 que depois passou a chamar-se EIA244A ou ASCII (Smid00). Atualmente o meio mais usado de entrada de dados para o CNC é via computador, embora durante muitos anos a fita perfurada foi o meio mais usado assim como outros com menor destaque. A linguagem destinada a programação de máquinas era a APT (Automatically Programed Tools) desenvolvida pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts em 1956 (Pressman77) (Stemmer81), que será vista adiante em capítulo específico.

Daí para frente foram desenvolvidas outras linguagens para a geração contínua de contornos como AutoPrompt (Automatic Programming of Machine Tools), ADAPT, Compact II, Action, e outros que surgiram e continuam surgindo para novas aplicações (SENAI85) (Machado90).

Com o aparecimento do circuito integrado houve grande redução no tamanho físico dos comandos, embora sua capacidade de armazenamento tenha aumentado comparando-se com os controles transistorizados. Em 1967 surgiam no Brasil as primeiras máquinas controladas numericamente vindas dos Estados Unidos (Stemmer81). No início da década de 70 surgem as primeiras máquinas CNC (Comando Numérico Computadorizado) e no Brasil surgem as primeiras máquinas

CNC de fabricação nacional (Stemmer81). A partir daí observa-se uma evolução contínua e notável concomitantemente com os computadores em geral fazendo com que os comandos CNC mais modernos empreguem em seu conceito físico (hardware) tecnologia de última geração.

Atualmente as novas gerações de máquinas CNC são dotadas de comandos com arquitetura aberta combinando-se as funções de comando do CNC juntamente com as funções de um computador pessoal. O CNC pode ser operado utilizando-se um computador com uma interface gráfica contendo as funções de trabalho que são utilizadas para a troca de informações entre o CNC e o computador e programas de banco de dados podem ser utilizados para gerenciar arquivos de ferramentas, suportes, dispositivos, etc.

Em CNC's de arquitetura aberta os softwares aplicativos podem ser desenvolvidos em sistemas operacionais de uso conhecido como o Microsoft Windows®, possibilitando aos fabricantes de máquinas-ferramenta desenvolver softwares de aplicação da mesma maneira em que são desenvolvidos programas para um computador pessoal de uso comum, utilizando-se linguagens de programação como Visual Basic ou Visual C++ e a interface OLE/DDE (Fanuc).

(Heuchemer) descreve a importância de sistemas abertos para construtores de máquinas-ferramenta possibilitando a estes o acesso a uma grande variedade de ferramentas para customizar as telas de operação e programação das interfaces homem-máquina. Em consequência disto, os construtores estão limitados somente ao orçamento de seu cliente podendo criar telas especificamente para um determinado operador.

Ainda em fase conceitual e testes foi exposto pela empresa Newall, Inc. de Columbo, Ohio , EUA na feira de tecnologia de usinagem EASTEC na Inglaterra em maio de 2001 um sistema de comando sem fio e ativado por voz. Neste sistema, o operador poderá ver os parâmetros da máquina sem precisar olhar para o painel ou qualquer outro dispositivo como o "teach-pendant" . O comando é acionado por voz para chamar as funções o que substituí chaves e botões. O operador utiliza um capacete com fones de ouvido, microfone e uma tela de projeção ao nível do olho para enviar instruções para a máquina. Nesta tela, do tamanho de um cartão de crédito feita

de material semitransparente que não obscurece os objetos vistos através dela, o operador pode visualizar os comandos no espaço permitindo a realização de operações “hand-free”, possibilitando ao operador andar livremente em torno da máquina ao mesmo tempo em que visualiza todas as operações (Donaldson03).

Tecnologia CN e tecnologia CNC:

As siglas CN e CNC executam basicamente a mesma tarefa – trabalham com a manipulação de dados com a finalidade de usinar uma peça. Em ambos os casos o projeto interno do sistema de comando contém as instruções lógicas que processam os dados. Neste ponto a similaridade acaba.

O sistema CN (em oposto ao sistema CNC) utiliza funções lógicas fixas que são construídas e permanentemente fechadas dentro da unidade de comando. Estas funções não podem ser modificadas pelo programador ou pelo operador da máquina. O sistema pode interpretar um programa mas não pode proporcionar nenhuma mudança do programa utilizando o próprio comando.

O sistema CNC moderno, ao contrário do sistema CN, utiliza um micro processador interno. Este processador contém armazenados em seus registros de memória uma variedade de rotinas que são capazes de manipular funções lógicas. Isto significa que o programador ou o operador pode modificar o programa na própria máquina com resultados instantâneos. Esta flexibilidade trás grande vantagem para os sistemas CNC e provavelmente é o elemento chave que contribuiu com o aumento do uso da tecnologia na moderna manufatura (Smid00).

Já (Machado90) define CN de duas maneiras: Como comando numérico ponto a ponto que permite o posicionamento dos eixos comandados de máquinas dentro do intervalo de precisão e repetibilidade previstos, porém, em movimento rápido e sem uma trajetória pré-determinada e controlada ou como controle numérico contínuo que garante, além do posicionamento preciso da peça segundo os eixos comandados, também uma trajetória da ferramenta perfeitamente definida tanto na sua forma quanto na velocidade de avanço.

Máquinas convencionais e máquinas CNC:

O que faz as máquinas CNC superiores às máquinas convencionais? São superiores em tudo? Quais os principais benefícios? Quando se compara máquinas CNC com máquinas convencionais vê-se que surgem pontos em comum para a execução de um trabalho (Smid00):

- 1 – Obter e estudar o desenho da peça;
- 2 – Escolher o método de usinagem mais adequado;
- 3 – Decidir o método de set-up;
- 4 – Selecionar as ferramentas de corte;
- 5 – Estabelecer velocidades e avanços;
- 6 – Usinar a peça.

Estas etapas básicas são as mesmas para os dois tipos de máquina. A maior diferença é o modo de como que as várias informações são introduzidas na máquina. Um avanço de 100 metros por minuto (100 mpm) é o mesmo tanto em máquinas convencionais quanto em máquinas CNC, mas o método de levar esta informação para a máquina não é o mesmo. Pode-se dizer o mesmo da refrigeração do corte. Pode-se ligá-la usando um botão, uma chave ou programando um código especial. Todas estas ações terão como resultado um jato de líquido refrigerante saindo por um bico de pulverização. Em ambos os tipos de máquina é necessário um certo conhecimento por parte do usuário para colocar estas ações em prática.

Em máquinas convencionais, o operador ajusta a máquina e move cada ferramenta utilizando as duas mãos para produzir a peça desejada. O projeto de uma máquina convencional oferece muitas facilidades que auxiliam o processo de usinar uma peça, tais como: alavancas, engrenagens, volantes, etc... Os mesmos movimentos são repetidos pelo operador em cada peça do lote. Entretanto, a palavra “*mesmos*” neste contexto significa, realmente mais “*similar*” do que “*idêntico*”. Os seres humanos não são capazes de repetir o mesmo movimento várias vezes e também não são capazes de trabalhar por um longo tempo sem descanso. O efeito destes pontos em uma operação de usinagem de uma peça são difíceis de prever. Existirão algumas diferenças e inconsistências entre peças de um mesmo lote. Estas peças não serão exatamente as mesmas.

Dificuldades comuns na usinagem convencional são manter as tolerâncias dimensionais e o acabamento superficial. Cada operador tende a desenvolver os seus próprios métodos que podem ser diferentes de operador a operador. A combinação destes e de outros fatores tais como desgaste de ferramentas, instrumentos de medição não calibrados, etc..., podem gerar inconsistências dimensionais e de acabamento de peça para peça.

Um operador trabalhando com comando numérico evita a maioria das inconsistências acima, já que máquinas CNC não exigem o mesmo envolvimento físico que as máquinas convencionais evitando atividades repetitivas por parte do operador que freqüentemente são causas de erros. Máquinas CNC não têm a mesma quantidade de alavancas, botões e volantes que as máquinas convencionais, ao menos, não com as mesmas finalidades que as máquinas convencionais. Uma vez elaborado o programa de usinagem, este pode ser utilizado um sem número de vezes sempre com os mesmos resultados. Isto não significa que não há fatores limitantes. As ferramentas de corte podem ter variações, as peças em bruto podem ter variações dimensionais dentro de um mesmo lote, os set-up's de máquina podem variar, etc. estes fatores deverão ser considerados e compensados quando necessário.

(Smid00) afirma que o desenvolvimento da tecnologia CNC não significa o fim das máquinas convencionais. Existem muitos casos em que é preferível utilizar máquina convencional do que máquina CNC. Certos tipos de trabalho podem ser executados de uma forma mais rápida em máquinas convencionais ou semi-automáticas do que em máquinas numericamente controladas. Máquinas CNC não significam a eliminação das máquinas convencionais, mas o seu complemento.

2.3 – FRESADORAS CNC

A definição de fresadoras CNC é muita vasta. Todas as máquinas ferramentas que possuem desde um simples eixo árvore até acima de cinco eixos podem ser incluídas nesta categoria (Witte98). Existem em vários tamanhos, formatos, adequadas a certos trabalhos, etc, mas todas têm algo em comum – seus eixos primários são X e Y. Nesta categoria de máquinas estão também as máquinas ferramenta EDM, corte a

laser, corte a jato d'água, corte a plasma, etc. (Smid00), define fresadora CNC como segue:

“Fresadora é uma máquina capaz de executar um movimento de corte, utilizando uma fresa de topo como ferramenta primária ao longo de, ao menos, dois eixos simultaneamente.”

Tipos de fresadoras CNC:

(Smid00) divide-as em três categorias:

- Pelo número de eixos comandados – dois, três ou mais.
- Pela orientação do eixo principal – vertical ou horizontal.
- Pela presença ou ausência de trocador automático de ferramenta.

Fresadoras onde o eixo da ferramenta de corte se move de baixo para cima ou vice-versa são categorizadas como máquinas verticais. Quando a ferramenta se move da direita para a esquerda ou vice-versa são conhecidas como máquinas horizontais. (Veja as figuras 2.1 e 2.2)

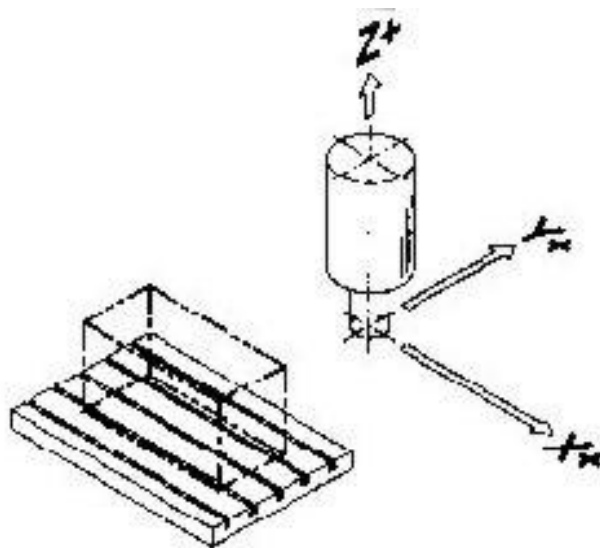


FIGURA 2.1 – Representação esquemática de uma fresadora CNC vertical.

FONTE: Smid, P. CNC Programming Handbook, pg 7

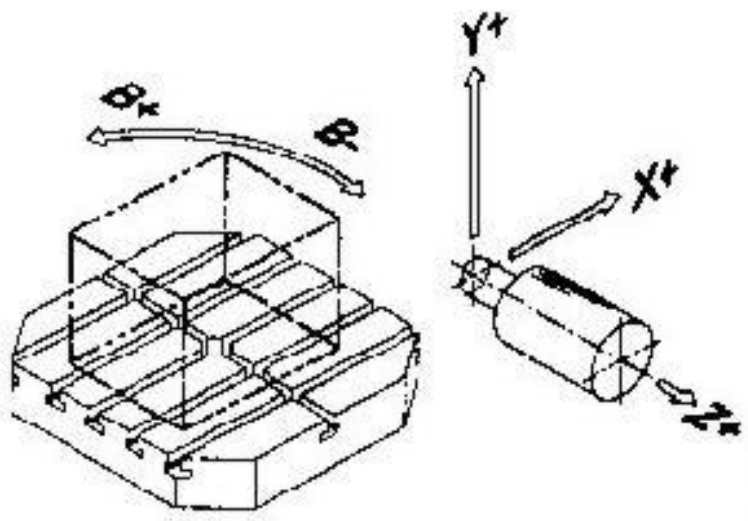


FIGURA 2.2 - Representação esquemática de uma fresadora CNC horizontal.

FONTE: Smid, P. CNC Programming Handbook, pg 7

Estas definições simplificadas não refletem o atual estado-da-arte da construção de máquinas-ferramenta. A indústria de máquinas está constantemente mudando. Novas e mais poderosas máquinas são projetadas e produzidas por muitos fabricantes ao redor do mundo dotadas de muitas funções. Máquinas hexápodes são um exemplo desta evolução contínua.

A maioria das máquinas modernas projetadas para fresamento são capazes de realizar muitas tarefas diferentes, não somente as de fresamento mas principalmente furação, rebaixamento, mandrilamento, roscamento e muitas outras. Elas podem ser equipadas com um magazine de ferramentas multifuncionais, conhecido como Trocador Automático de Ferramenta (TAF), pallets automáticos, comandos adaptativos, interface com robôs, carga e descarga automática de peças, sistemas de usinagem de alta velocidade e outras maravilhas da moderna tecnologia. A questão é: podem estas máquinas com estas capacidades ter a denominação simplesmente de fresadoras CNC? Em duas palavras: certamente não. Fresadoras que possuem ao menos algumas destas funções tornam-se um novo tipo de máquinas ferramenta – *Centros de Usinagem CNC* (Machado 90).

Eixos de coordenadas em um centro de usinagem CNC

Fresadoras e centros de usinagem possuem, ao menos, três eixos – X, Y e Z. Estas máquinas se tornarão mais flexíveis se possuírem um quarto eixo, comumente um eixo rotacional (eixo A para modelos verticais e eixo B para modelos horizontais). Para iniciarmos os trabalhos de descrição dos movimentos de uma máquina ferramenta deve-se, primeiramente definir o sistema de coordenadas e os pontos de referência dentro da área de trabalho (Smid00).

A figura 2.3 mostra o sistema de coordenadas cartesianas X, Y e Z e os respectivos eixos de rotação definidos pelas letras A, B e C convencionados pela regra da mão direita. Será utilizado este sistema para referenciar nosso espaço de trabalho (Machado90).

A quantidade de eixos e o tipo de sistema de coordenadas utilizado dependerão do tipo de máquina a qual se está programando.

A figura 2.4 representa o sistema de referência para o caso específico para um centro de usinagem vertical DISCOVERY 4022 com comando MACH9MP da ROMI. Neste centro de usinagem os movimentos podem ocorrer ao longo dos eixos XY, XZ ou YZ, sendo o eixo Z sempre perpendicular ao plano XY (Romi).

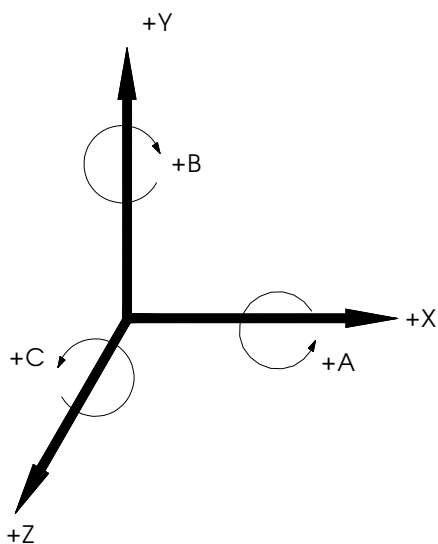


FIGURA 2.3 – Sistemas de coordenadas perpendiculares

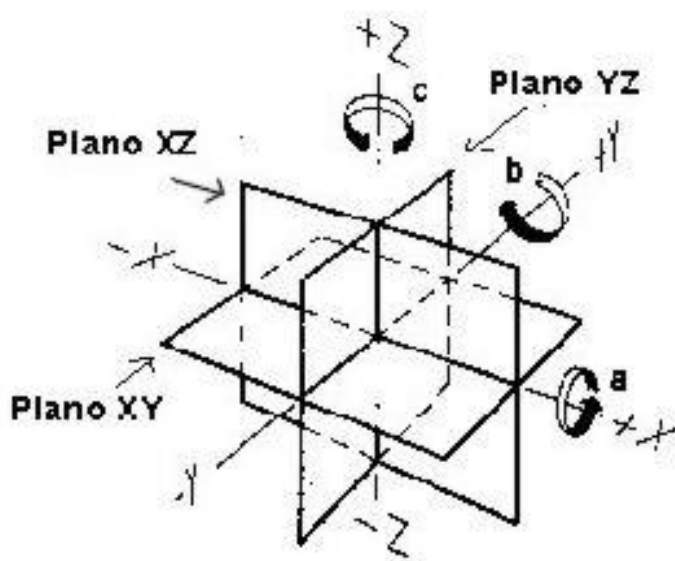


FIGURA 2.4 – Orientação dos planos em centros de usinagem verticais

FONTE: Smid, P. CNC Programming Handbook, pg 18

O eixo X neste tipo de máquina será sempre paralelo ao comprimento da mesa (eixo longitudinal), o eixo Y paralelo à profundidade (eixo transversal) e o eixo Z

paralelo ao movimento da ferramenta (Smid00). Na figura 2.5 vê-se a disposição típica dos eixos para centros de usinagem verticais.

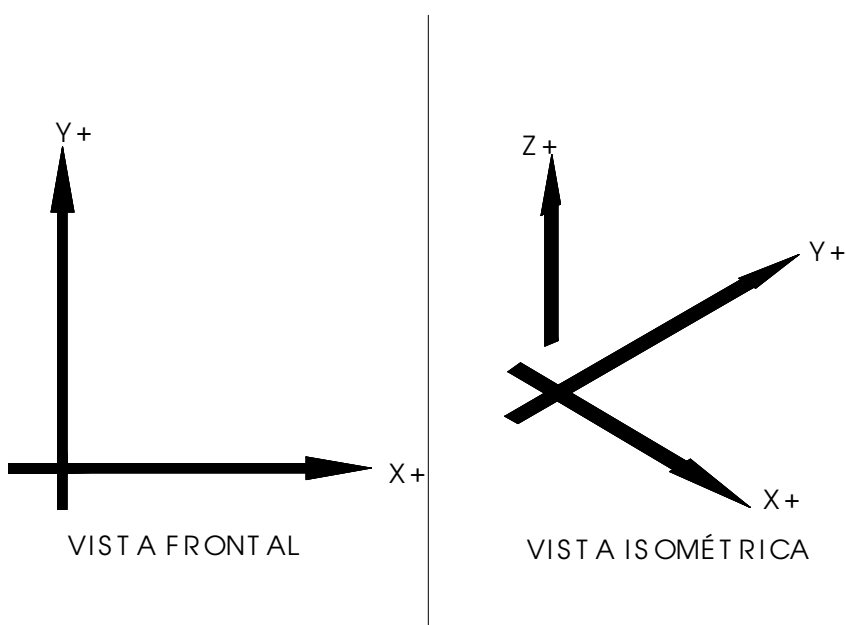


FIGURA 2.5 – Disposição dos eixos em centros de usinagem verticais

2.4 – DESENVOLVIMENTO DE PROGRAMAS DE USINAGEM

Programas de usinagem são instruções codificadas para um determinado comando CNC onde as informações geométricas e dimensionais contidas em uma peça, conhecida por meio de desenhos e cotas (números), seriam entendidas e processadas pela máquina CNC. O desenvolvimento de qualquer programa CNC inicia-se com um planejamento muito cuidadoso. Inicia-se com o projeto da peça onde se devem observar várias etapas antes da usinagem, vistas abaixo:

Etapas do processo de programação:

Dependendo do tipo de trabalho a ser executado, devem-se considerar alguns passos para a execução de um programa de usinagem. Não há uma fórmula prática

para todos os trabalhos mas alguns passos básicos deverão ser considerados tais como:

- Leitura e interpretação do desenho da peça a ser usinada;
- Definição da seqüência de usinagem (Ex. Primeiro facear, depois furar etc..);
- Definições de parâmetros de usinagem: Avanços, velocidades e rotações de corte;
- Escrever o programa.

Estes passos são somente uma lista de sugestões – uma linha guia. São muito flexíveis e deverão sempre ser adaptados para cada tarefa e para as condições de trabalho.

Existe somente um objetivo durante a etapa de planejamento do programa que é preencher todas as instruções de forma a completar um programa livre de erros, seguro e eficiente. Os procedimentos acima podem exigir algumas mudanças – Por exemplo, a escolha das ferramentas deverá ser feita antes ou depois do set-up de máquina? Os métodos de programação manual podem ser mais eficientes que o automático? Não é preciso temer modificar qualquer etapa de um procedimento dito ideal, temporariamente ou permanentemente para refletir um tipo particular de programação CNC.

O desenho da peça é o mais importante documento para a programação CNC. Ele visualmente identifica a forma, as dimensões, tolerâncias, acabamento superficial e outras informações necessárias para completar o programa. Desenhos de peças complexas freqüentemente possuem muitas folhas com diferentes vistas, detalhes e cortes. O programador analisa primeiramente todos os dados, então isola os que são relevantes para o programa. Infelizmente, muitos métodos de desenho não refletem o processo atual de manufatura CNC. Eles refletem o pensamento do projetista melhor do que o do programador. Tais desenhos estão corretos sob o ponto de vista técnico, mas são difíceis para o estudo do programador e precisam ser “interpretados” para extrair as informações necessárias para a elaboração do programa. Exemplos comuns são os métodos de dimensionamento das peças, onde não há um ponto de referência para ser utilizado pelo programador e a orientação dos eixos de acordo com a máquina a ser utilizada. Em um ambiente CAD/CAM, o tradicional espaço entre o projeto,

desenho e a programação CNC é eliminado (Preston84). Isto ajuda ao projetista entender as intenções do programador e vice-versa. Ambos, projetista e programador têm de entender os métodos utilizados por um e por outro para encontrar um terreno comum para desenvolver todo o processo de manufatura de uma maneira coerente e eficiente.

Informações iniciais:

A maioria dos desenhos definem somente a forma e as dimensões de uma peça completa e não especificam dados sobre o material inicial do qual a peça será usinada. Para programadores, é essencial um bom conhecimento sobre materiais principalmente dureza, usinabilidade, composição, etc. O desenho e os dados sobre o material são as informações primárias para o início do programa. Neste ponto, pode-se iniciar o planejamento do programa CNC. O objetivo deste planejamento é utilizar as informações iniciais para estabelecer o método mais eficiente de usinagem, relacionando todas as considerações, principalmente – precisão, produtividade, segurança e conveniência.

As informações iniciais não se limitam ao desenho e aos dados do material; inclui, também, condições não previstas pelo desenho como pré e pós usinagem, dispositivos de fixação, set up de máquina e outros. Coletando todas estas informações têm-se condições de iniciar nosso programa CNC.

Condições de máquina:

Nenhuma informação inicial será útil se a máquina CNC não for adequada ao trabalho. Durante o planejamento do programa o programador concentrará sua atenção em uma máquina ferramenta em particular utilizando uma linguagem de programação própria. Cada peça deve ter um sistema de fixação e a máquina CNC deve ser grande o suficiente para permitir o manuseio da peça e do dispositivo que não deverá ser mais pesado do que a capacidade de carga da máquina. O sistema de comando deverá ser capaz de executar o percurso de ferramenta exigido pela superfície da peça e assim por diante.

Tipo de máquina e tamanho:

As considerações mais importantes na programação CNC são o tipo e o tamanho da máquina, particularmente o seu espaço de trabalho. Outras características, igualmente importantes são potência da máquina, rotação do eixo árvore, velocidade de avanço, capacidade de ferramentas, sistema de troca de ferramentas, acessórios disponíveis, etc.

2.4.1 - PROGRAMAÇÃO MANUAL

A programação manual (sem o auxílio de um computador) tem sido o método mais comum de programação durante anos. Os mais recentes comandos CNC tornam a programação manual muito fácil pela utilização de ciclos fixos, repetição de variáveis, gráficos de simulação de trajetória de ferramenta, alguns cálculos matemáticos inclusos e outras facilidades para economia de tempo de programação. Na programação manual todos os cálculos são feitos à mão com a ajuda de uma calculadora.

Existem algumas desvantagens associadas à programação manual. Talvez a maior seja o tempo necessário para desenvolver um programa completo. Os cálculos, verificações e outras atividades exigem muito tempo em programações manuais. Outra grande desvantagem é o alto percentual de erros e a dificuldade em se efetuar mudanças no programa.

Por outro lado, a programação manual oferece bons resultados. A programação manual é tão intensa que exige o total envolvimento do programador e ainda oferece uma liberdade infinita de desenvolvimento de estruturas de programa. Programar manualmente não oferece somente desvantagens, mas ensina uma disciplina e organização forçando ao programador a entender as técnicas de programação em detalhes. De fato, muitas técnicas utilizadas na programação manual são aplicadas diretamente em programação via CAD/CAM. O programador tem de entender *o que* está acontecendo e *por que*. É muito importante o conhecimento profundo de cada detalhe durante a etapa de programação.

Ao contrário do que muitos acreditam, um profundo conhecimento de programação manual é absolutamente essencial para o desenvolvimento de um programa via CAD/CAM.

2.4.2 – CAD/CAM e CNC

A necessidade de se aumentar a eficiência e a precisão na programação CNC tem sido a maior razão que tem levado ao desenvolvimento de uma variedade de métodos que utilizam o computador para preparar programas de usinagem. O uso de computador para auxiliar a programação CNC tem sido implementado há vários anos. Primeiro na forma de linguagens baseadas em programação como APT ou Compact II. Desde os anos 70, sistemas CAD/CAM tem um importante papel em programação CNC por adicionar o aspecto visual (Preston84). A sigla CAD/CAM significa “*desenho auxiliado por computador*” e “*manufatura auxiliada por computador*”. As primeiras três letras (CAD) cobrem a área de engenharia de projeto e as demais cobrem a área de manufatura computadorizada. O objetivo total de um sistema CAD/CAM é muito maior do que apenas desenho e programação. É parte de moderna tecnologia conhecida como CIM – “*manufatura integrada por computador*” (Lepikson90).

Na área de comando numérico cada vez mais os computadores ocupam uma posição de destaque. Os comandos das máquinas estão tornando-se cada vez mais sofisticados, incorporando as últimas técnicas de processamento de dados, armazenamento, gráficos, ciclos de usinagem, etc. Os programas podem ser preparados com o uso de computadores baratos, utilizando uma interface gráfica. Estes sistemas se tornaram populares também, devido a sua flexibilidade. Um sistema de programação computadorizado não tem de ser dedicado somente à programação. Todas as tarefas relacionadas feitas freqüentemente pelo programador podem ser implementadas pelo mesmo computador, como por exemplo, inventário de ferramentas, base de dados de programas, folhas de processo, folhas de set up, etc. O mesmo computador pode ser utilizado para carregar e descarregar programas para a máquina CNC.

Uma das regras mais importantes para a utilização de sistemas CAD/CAM é: “Nunca faça a mesma coisa duas vezes”. Quando é feito um desenho em um software

de CAD e precisa-se refazer este desenho para utilizá-lo em um software de CAM, isto é repetição de tarefas. As duplicações podem acarretar erros. Para prevenir erros, a maioria dos softwares de CAD incorpora um sistema de transferência para transportar as informações geométricas para o sistema CAM a ser utilizado na programação CNC. Uma vez que a geometria é transferida do sistema CAD para o sistema CAM, necessita-se somente do percurso de ferramenta relacionado ao processo. Utilizando um pós-processador, o computador irá preparar um programa de usinagem pronto para ser carregado diretamente para a máquina CNC (Preston84) (Besant86).

2.4.3 – SISTEMAS INTEGRADOS DE FABRICAÇÃO

Um sistema integrado de fabricação possui máquinas com comando numérico interligadas entre si com transportadores e trocadores automáticos de peças realizando operações conseqüentes ou simultâneas. Estes sistemas podem conter sistemas sensitivos de desgaste de ferramentas, analisador de quebras de ferramentas, sistema diagnóstico de avarias e sistemas sofisticados de trocas de peças de modo que esta operação não acarrete a espera da máquina. Estas células de fabricação normalmente são supervisionadas por uma central de processamento de dados que coordena todos os CNC's envolvidos, sistema de troca de peças, programas e outros eventos (Lepikson90) (Machado90). Todo o conceito de uma célula de fabricação flexível reside na teoria da Tecnologia de Grupo que permite a fabricação de peças com a mínima intervenção do homem e com a maior flexibilidade possível com relação a tipos e quantidades.

A programação CNC em tais ambientes deve possuir as seguintes características (Gregoire87) (Smith85):

- ♣ Os programas devem estar disponíveis em bancos de dados em uma forma manipulável e parametrizável para fins de manutenção, atualização e utilização como base de programas para novas peças da mesma família. Isto significa dispor de programas em linguagem de alto nível;
- ♣ Pelas mesmas razões, a estruturação dos programas deve privilegiar, na medida do possível, a modularidade e o uso de sub-rotinas;

♣ O armazenamento de programas e sub-rotinas não deve ser nos CNC's para evitar redundâncias e inconsistências.

Em contraponto a estes ambientes totalmente integrados ainda têm-se empresas trabalhando com pouca informação e carentes de recursos humanos o que acarreta baixa produtividade devido ao baixo grau de utilização das máquinas CNC (Costa01).

2.4 – ESTRUTURA DE UM PROGRAMA CNC

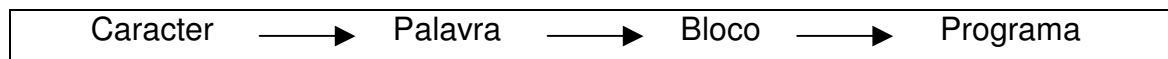
Um programa CNC é composto por uma série de instruções seqüenciais relacionadas com a peça a ser usinada. Cada instrução é especificada em um formato que possa ser aceito, interpretado e processado por um sistema CNC, difundida atualmente como “código G”, disponível nos padrões EIA RS-274 e ISO 6983-88 (que apesar de similares, são implementações distintas).

O “código G”, pretendia ser um padrão flexível. De tão flexível, acabou levando a uma grande diversidade de implementações incompatíveis entre si. É também incompleto, o que leva os fabricantes a completar o código de acordo com suas necessidades, através das chamadas funções miscelâneas e de pós-processador, específicos para cada máquina CNC. Essas características, associadas às especificidades do projeto de cada máquina-ferramenta, impõem a necessidade de um tradutor específico e único: os chamados pós-processadores (Herndon84) (Smith85) (Edwards86).

Termos básicos em programação CNC:

O campo de programação CNC tem a sua própria terminologia, abreviaturas e expressões.

Existem quatro termos básicos utilizados em programação CNC. Eles aparecem em artigos, livros, seminários e assim por diante. Estas palavras são a chave para entender a terminologia geral CNC (Romi):



Cada termo é muito importante na programação CNC e merece uma explicação detalhada:

Caracter:

Um caracter é a menor unidade em um programa CNC. Pode aparecer em três formas:

- Dígitos
- Letras
- Símbolos

Caracteres são combinados em palavras significativas. Esta combinação de dígitos, letras e símbolos são chamados de entrada de dados alfanuméricos.

Dígitos:

Existem dez dígitos, de 0 a 9, disponíveis para uso em programas para criar números. Os dígitos são utilizados de dois modos: Um para valores inteiros (números sem o ponto decimal), outro para números reais (números com o ponto decimal). Os números podem apresentar valores positivos ou negativos. Em alguns comandos, os números reais podem ser utilizados com ou sem pontos decimais. No caso do comando MACH9MP da DISCOVERY 4022 é obrigatório a utilização de ponto decimal mesmo para números inteiros.

Letras:

Todas as letras do alfabeto estão disponíveis para uso em programação , ao menos, em teoria. A maioria dos comandos aceitará algumas letras e não aceitará outras. Por exemplo, um comando de torno CNC rejeitará a letra Y, já que a letra Y é exclusiva para operações de fresamento. Normalmente os comandos CNC aceitam letras maiúsculas em programação, mas alguns comandos podem aceitar as minúsculas em alguns casos com o mesmo significado das maiúsculas. No caso do comando MACH9MP as letras minúsculas irão indicar programação em coordenadas incrementais.

Símbolos:

São utilizados muitos símbolos em programação, em adição a letras e dígitos. Os símbolos mais comuns são o ponto decimal, sinal de percentual, parêntesis e outros dependendo do tipo de comando.

Palavra:

Uma palavra é a combinação de caracteres alfanuméricos, criando uma instrução simples para o sistema de comando. Normalmente, cada palavra inicia com uma letra maiúscula que é seguida por um número representando um código de programa ou um valor atual. Palavras típicas indicam a posição do eixo, avanço, rotação, comandos preparatórios, funções miscelâneas e outras definições.

Bloco:

A palavra é utilizada para uma instrução simples, já um bloco é para instruções múltiplas em um programa CNC. Um programa consiste de linhas individuais de instruções seqüenciadas em ordem lógica. Cada linha – chamada de *bloco seqüencial* ou simplesmente *bloco* é composto por uma ou várias palavras e cada palavra é composta por dois ou mais caracteres.

Programa:

A estrutura do programa varia entre diferentes comandos, mas o enfoque lógico não. Um programa inicia-se com o número do programa ou algo similar para identificação, seguido pelos blocos de instruções em seqüência lógica. O programa termina com um código de final de programa ou um símbolo como o %. As documentações internas e as mensagens para o operador podem ser colocados em lugares estratégicos dentro do programa.

Funções preparatórias:

O endereço G identifica um comando preparatório, freqüentemente conhecido como código G. Este endereço tem somente um objetivo – ordenar ou ajustar o sistema de comando para obter uma desejada condição, modo ou estado de operação. Por exemplo, o endereço G00 ordena um movimento em rápido para uma máquina

ferramenta; o endereço G81 ordena uma operação de furação, etc.. O termo função preparatória indica que um código G irá preparar o comando para aceitar as funções de programação seguintes ao código G de um modo específico.

Descrição das funções:

No exemplo abaixo é ilustrada a finalidade das funções preparatórias, como segue:

N7 X13.0 Y10.0

Olhando para este bloco vê-se que as coordenadas X13.0Y10.0 relacionam-se à posição final da ferramenta de corte quando o bloco N7 é executado (isto é, processado pelo comando). O bloco não indica se as coordenadas estão no modo incremental ou absoluto; também não indica se os valores estão em polegada ou em milímetros. Tampouco indica se o movimento será realizado em rápido ou em uma velocidade pré-determinada. A informação contida no bloco está incompleta, por esta razão inútil. São necessárias algumas informações adicionais para que o bloco seja executado.

Por exemplo, a fim de ordenar ao bloco N7 um movimento em rápido utilizando dimensões absolutas, todas estas instruções ou comandos, deverão ser executados antes ou dentro do bloco:

→ Exemplo A:

N6 G90

N7 G00 X13.0 Y10.0

→ Exemplo B:

N3 G90

N4

N5

N6

N7 G00 X13.0 Y10.0

→ Exemplo C:

N3 G90

N4 G00

N5

N6

N7 X13.0 Y10.0

Todos os exemplos terão o mesmo resultado desde que não haja mudanças de qualquer código G entre os blocos N4 e N6.

Os códigos G poderão ser modais ou não modais. O que isto quer dizer: Cada sistema de comando tem a sua própria lista de códigos G. Muitos códigos G são muito comuns e podem ser encontrados em praticamente todos os comandos - chamados modais, outros são únicos para um comando em particular. Devido à natureza destas operações, a lista de códigos G será diferente para sistemas de fresamento e de torneamento.

Uma função G modal estabelece um modo de operação que permanece em efeito para os blocos subseqüentes. Este efeito permanece até que uma outra função G que a cancele seja executada.

Uma função G não modal estabelece um modo de operação que permanece ativo apenas no bloco no qual foi programada.

Funções miscelâneas:

O endereço M em um programa CNC identifica uma função miscelânea, as vezes conhecidas como função de máquina. Elas são utilizadas para definir as ações tomadas pelo PAL (*Aplicações Lógicas Programáveis*). PAL é um programa que o comando executa que controla algumas funções como troca de ferramenta, liga ou desliga refrigerante, eixo árvore, etc...

O instalador do comando programa o PAL para executar ações específicas quando encontrar um bloco de dados com um código M. Devido a muitas destas funções M serem exclusivas de uma máquina particular, é impossível definir as atribuições específicas a todas as máquinas.

Algumas funções M pré-definidas para o comando executam ações específicas internamente e estas são descritas a seguir. Entretanto a ação específica que essas funções M produzem, são determinadas de acordo com a máquina.

Funções relacionadas à máquina:

Várias operações físicas da máquina CNC deverão ser controladas pelo programa para assegurar uma usinagem totalmente automatizada. Estas funções geralmente utilizam o endereço M e incluem as seguintes operações:

- ⊖ Rotação do eixo (horário ou anti-horário).
- ⊖ Troca automática de ferramenta.
- ⊖ Troca automática de pallet.
- ⊖ Refrigeração (liga ou desliga).

2.6 – ESCRREVENDO UM PROGRAMA CNC

Escrever um programa CNC é o resultado final de uma programação manual. Esta última etapa exige uma folha de papel, ou muitas folhas dependendo do programa. O programa é composto de instruções individuais relacionadas a usinagem e arranjadas em uma série de blocos. Escrever não significa utilizar somente uma caneta ou um lápis. Métodos modernos empregam computadores, editores de texto, mas o resultado é ainda uma cópia escrita de um programa gerado manualmente.

O desenvolvimento manual de um programa é o resultado de trabalho duro. Um programa curto com poucas linhas pode ser facilmente introduzido diretamente no comando ou escrito primeiramente em uma folha.

Para programas longos, este método é perda de tempo. A alternativa moderna para uma caneta é o teclado de um computador, utilizando um editor capaz de gerar um arquivo que seja entendido pela máquina CNC. Este arquivo poderá ser impresso ou enviado diretamente para a máquina CNC

Escrita do programa:

Escrever todos os dados coletados em uma versão final de um programa de usinagem é um dos últimos itens dentro do processo de programação. Atingir este estágio exige trabalho duro em todas as etapas iniciais – quando todas as idéias são coletadas, todas as decisões foram tomadas e um certo nível de conforto foi atingido.

Escrever um programa é baseado em dois fatores iniciais:

- ⊖ Decisões corporativas ... a empresa decide
- ⊖ Decisões pessoais ... você decide

Ambos os fatores podem ser adaptados simultaneamente em um simples programa – são inteiramente compatíveis.

O resultado final do primeiro fator – regras da empresa – é substituído pelo segundo fator – estilo pessoal. A partir de um ponto de vista objetivo, não há nada de errado com o estilo pessoal de programação, desde que o programa funcione.

O maior problema com o estilo pessoal é a inconsistência. Qualquer empresa que utilize máquinas CNC que emprega ou planeja empregar mais do que um programador, deve estabelecer um mínimo de regras para a preparação de um programa. A obediência a estas regras permite a qualquer membro da equipe continuar um trabalho iniciado por outro membro. Frequentemente o estilo pessoal do primeiro programador em uma empresa definirá as regras a serem seguidas para a padronização – isto poderá ser bom ou ruim. Dependendo da situação isto poderá ser muito positivo, mas na maioria dos casos exigirá uma reavaliação ou, no mínimo, um pouco de modernização.

Legibilidade de um programa escrito à mão:

Escrever um programa sem a assistência de um computador e de um editor de texto significa escrever o programa à mão. Um programa escrito à mão é fácil de corrigir e poderá ter espaçamento duplo ou triplo entre os blocos. Nestas condições, mudanças futuras (se necessárias) poderão ser feitas facilmente mantendo, ainda assim, a aparência limpa do papel. Problemas com a legibilidade de um programa gerado manualmente serão minimizados se o digitarmos diretamente na tela da máquina.

2.7 – INTERFACES:

Um programa CNC completo, já foi verificado a sintaxe e otimizado para uma melhor performance poderá ser carregado para dentro da memória da máquina CNC.

Existem muitas maneiras de carregar um programa para a memória da máquina. O método básico e também o que consome mais tempo é simplesmente teclar o programa na máquina, utilizando o painel de comando e o teclado. Sem dúvida, este é o método menos eficiente, que pode implicar em muitos erros.

Pode-se, também, introduzir um programa na memória da máquina utilizando uma conexão de hardware chamada de interface de dados. Uma interface é, geralmente um dispositivo eletrônico que é projetado para fornecer comunicação entre o computador e a unidade CNC.

Exemplos de interfaces e dispositivos para armazenagem de dados são:

- ⊖ Leitora de fita e puncionadora de fita
- ⊖ Fitas cassetes
- ⊖ Cartões de dados
- ⊖ Disquetes
- ⊖ Discos rígidos
- ⊖ Dispositivos removíveis
- ⊖ Dispositivos ROM
- ⊖ ... e outros

Muitos destes dispositivos são proprietários, exigindo não somente uma cablagem especial, mas também softwares para rodar estes dispositivos. Será focalizado as conexões que poderão ser facilmente montadas e que utilizam configurações padrão. A interface mais comum utilizada atualmente na indústria é a interface RS232C (Campbell92).

Interface RS232C:

A transferência de dados entre dois dispositivos eletrônicos (computadores e comandos) exige uma série de ajustes que utilizam as mesmas regras para cada dispositivo. Desde que cada dispositivo é fabricado por diferentes indústrias, deverá haver um padrão independente que todos os fabricantes deverão seguir. A RS232C é um padrão – as letras RS significam “*Recommended Standard*” (Campbell92). Quase todos os sistemas CNC, computadores, perfuradores de fitas ou leitor de fitas tem um conector (conhecido como porta) que é reconhecido como RS232C ou similar. Existem

quatro tipos de portas, 25 pinos serial ou paralela e 9 pinos serial ou paralela. São conhecidas como conectores DB-25P, DB-25S DB-9S e DB-9P (paralelo e serial respectivamente)

A porta padrão para uma máquina CNC é a RS232C utilizando conector DB-25S. Um computador externo, geralmente um lap top, dotado de um cabo adequado e um software de comunicação também pode ser utilizado para transferir programas para a máquina CNC. Os dispositivos externos utilizam principalmente conector DB-25P ou DB-9P. O programa é enviado para a memória da máquina e fica armazenado lá somente o tempo para realizar o trabalho. O operador CNC fará algumas mudanças no programa se necessário e quando o trabalho é completado, o programa é reenviado para o lap top e armazenado no disco rígido. Este método de trabalho funciona bem tanto para uma máquina quanto para várias.

Perfurador de fitas:

No princípio da tecnologia de comando numérico a fita perfurada foi o meio inicial de envio das instruções de programa para o sistema de comando. Nos últimos anos da década de 80 a fita perfurada perdeu toda a sua importância e foi gradualmente substituída por computadores e lap top's carregados com softwares baratos.

Uma fita perfurada é frágil e freqüentemente quebradiça. Pode ficar suja facilmente, mas já foi muito popular. A sua utilização é econômica e está disponível ainda. A maioria das novas máquinas CNC já não a usa mais, mas ainda pode-se encontrar em uma antiga.

Comando Numérico Distribuído:

A porta de saída e de entrada (I/O) RS232C é utilizada para receber e enviar dados para uma máquina CNC. Os recursos externos são disco rígido ou uma fita de papel. Em muitas fábricas os programas são transferidos através de um recurso conhecido como DNC - *Comando Numérico Distribuído*.

Para interligar uma máquina CNC e um computador utilizando uma porta RS232C tudo o que se precisa é de um cabo ligando os dois dispositivos e de um software de comunicação. Para comunicar-se com duas ou mais máquinas utilizando a

mesma porta, cada máquina deverá ser conectada a uma caixa de distribuição. As caixas de distribuição têm duas ou mais saídas que são selecionáveis através de uma chave seletora. A utilização desse sistema exige procedimentos bem organizados para funcionar eficientemente.

Atualmente a comunicação entre máquinas pode ser feita através da rede Ethernet em um ambiente aberto. As redes inteligentes integradas em módulos padronizados permitem unir vários controles do CNC e estações de trabalho de programação . Através destas redes, a taxa de transferência de dados foi acelerada ao ponto onde mesmo os programas muito grandes podem ser transmitidos a uma máquina em segundos.

Entretanto, uma comunicação eficaz entre máquinas CNC promete mais do que rápida transferência de programas e de dados de produção dentro da rede da fábrica. Por exemplo, incorporando um modem e um software correspondente, pode-se conseguir acesso remoto ao diagnóstico de uma máquina do CNC. Com este diagnóstico remoto, um técnico em uma central de controle pode diagnosticar problemas em tempo real e determinar uma ação corretiva, emitir então os comandos apropriados e executar o reparo. Toda esta operação pode ser realizada sem a visita do técnico ao local (Donaldson03).

Terminologia de comunicação:

O sistema de comunicação entre máquinas tem a sua própria terminologia. Existem diversos termos, mas os mais comuns são:

- ⊖ Baud Rate
- ⊖ Paridade
- ⊖ Data bits
- ⊖ Bit de partida
- ⊖ Bit de parada

Baud Rate:

Baud rate é a velocidade de transmissão de dados. É medida como a quantidade de bits por segundo, escrito como bps. Baud rate está disponível somente em valores

fixos. Valores típicos são 50, 100, 110, 200, 300, 600, 1200, 2400, 4800 e 9600bps. Os comandos modernos podem apresentar taxas ainda maiores como 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600 e 76800bps. Em termos de tempo, quanto maior a taxa, mais rápida é transmissão.

Um bit transferido a 300bps levará 0.03333 milésimos de segundo para chegar ao destino, mas um bit transferido a 2400bps tomará somente 0.00042 de um segundo. Na prática, precisa-se de 10 bits para transferir um caracter; na taxa de 2400bps, a transmissão será em uma taxa de 240cps (caracteres por segundo). Uma boa taxa de transmissão é de 4800bps.

Paridade

Paridade é o método de conferir se todos os dados transmitidos foram enviados corretamente. Imagina-se apenas o que aconteceria se alguns caracteres ou dígitos de um programa CNC não fossem transmitidos corretamente ou não transferidos inteiramente.

Data bits

Um bit é um acrônimo para Binary Digit e é a unidade de informação que pode ser estocada em um computador. Cada dígito binário pode ter um valor de zero (0) ou um (1). Um e zero representam os estados ON e OFF respectivamente, então, um bit é como uma chave seletora que pode ser ligada ou desliga se necessário. Em um computador, cada letra, dígito e símbolo utilizado em um programa CNC é representado por uma série de bits - oito bits para ser preciso - criam uma unidade chamada byte.

Bit de partida e de parada

Para prevenir a perda de dados durante a comunicação, cada bit é precedido de um bit especial chamado de bit de partida que é um sinal de baixa voltagem. O sinal é enviado para o dispositivo de recebimento de dados e informa que um byte de dados está chegando.

Um bit similar ao de partida, mas no final do byte tem exatamente o significado oposto. Ele indica ao dispositivo de recebimento de dados que o byte terminou ou parou de ser transmitido. Este bit no final de um byte é conhecido como bit de parada.

Ajuste de dados

Os dados utilizados para comunicação deverão ajustados previamente antes de iniciar a transferência. O ajuste de um lado (em um computador ou em um sistema CNC) deve ser o mesmo ajuste para o outro lado que está recebendo os dados. Para o baud rate deve-se consultar o manual da máquina, mas uma taxa adequada é de 2400bps. O ajuste do software de comunicação é feito através do computador, de um lado, e dos parâmetros do sistema CNC de outro lado. Os ajustes de comunicação para o comando MACH9 são os seguintes:

- ⊖ 2400bps
- ⊖ Even parity
- ⊖ 7 bits de dados
- ⊖ 2 bits de parada.

Cabos de comunicação

O cabo mais comum para comunicação entre a máquina CNC e o computador é um cabo aterrado e isolado contendo fios (no mínimo oito), cada um encapsulado em uma cobertura de plástico colorida. A finalidade de um cabo de comunicação é conectar a porta CNC (25 pinos paralela) com a porta do computador (25 ou 9 pinos serial). Sempre utilizar um cabo de alta qualidade. Cabos isolados podem ser utilizados em distâncias maiores e tem melhores chances de evitar interferências durante a transmissão.

A porta de 25 pinos tem cada pino numerado e cada fio individual do cabo tem de ser conectado a números apropriados do outro lado. É comum cruzar os fios entre cada extremo. Um cruzamento típico é entre o pino 2 e o soquete 3 e o soquete 2 e o pino 3. Algumas posições numeradas têm de ser conectadas na mesma posição final do cabo. Isto é conhecido como “jumping”.

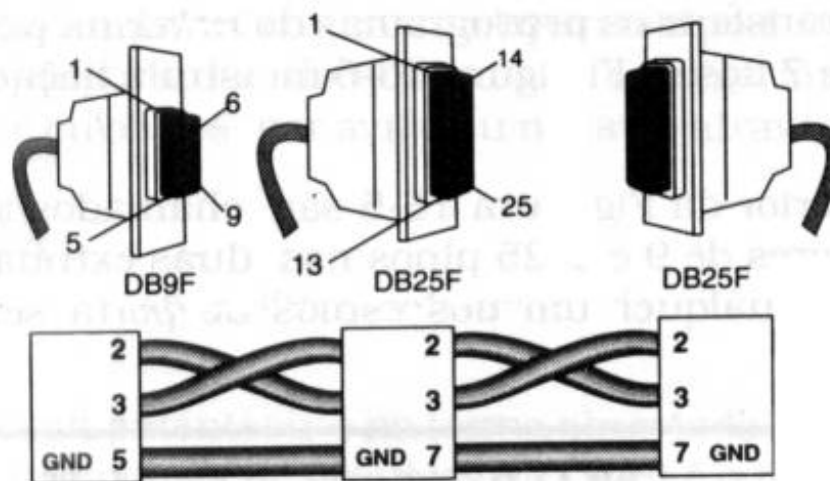


FIGURA 2.7 – Configuração do cabo de comunicação entre CNC e computador

2.8 – LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO

Como o número e a complexidade das aplicações de programação CN vêm aumentando, muitas linguagens foram desenvolvidas para atender a este crescimento. Muitos processadores e linguagens de programação foram escritos para aplicações dirigidas a uma determinada máquina ferramenta. Os fabricantes de máquinas-ferramenta desenvolveram processadores para os equipamentos de sua fabricação e alguns usuários também escreveram programas específicos para solucionar problemas que eles tinham. A primeira linguagem desenvolvida para programação foi o APT, dentro do laboratório de sistemas eletrônicos do MIT (Massachusetts Institute of Technology). Logo após, membros da Associação Americana da Indústria Aeroespacial desenvolveram uma versão comercial do APT que se rapidamente se tornou disponível para uso geral (Ross56). Ao mesmo tempo apareceram outras variantes do APT, como o Compact II que se destinava a computadores de pequeno porte utilizados por empresas de médio e pequeno porte. O APT também serviu de base para o desenvolvimento de um sistema mais eficiente de programação CNC, o EXAPT desenvolvido na Alemanha e que suportava a especificação de áreas de usinagem e a utilização de ciclos fixos (Budde73).

APT – Ferramenta Programada Automaticamente:

A mais compreensível e a mais conhecida de todas as linguagens dos processadores CNC é a APT (Automatically Programmed Tool) (Ross56). O APT fornece as ferramentas necessárias para a solução de problemas CNC complexos.

O APT utiliza palavras do idioma inglês, maiúsculas ou minúsculas, com significados específicos. O processador do programa APT suporta mais de uma centena de palavras. O vocabulário foi desenvolvido para ser aberto, tanto que novas palavras representam novas funções que foram incorporadas dentro da linguagem. Diferentes versões do APT foram escritas para utilização em diferentes computadores tanto para utilização em grandes como em pequenas máquinas.

O processador do programa APT e a linguagem APT foram concebidos para possibilitar a máxima flexibilidade para o programador CNC. Como qualquer processador em geral, as funções principais do sistema APT são:

- Definições geométricas;
- Definição de ferramentas e de movimentos;
- Funções da máquina-ferramenta;
- Comandos do sistema computacional.

As funções da linguagem são colocadas juntas em uma seqüência que descrevem a geometria da peça, os movimentos da ferramenta ao longo de uma superfície, ativam várias funções da máquina e definem as exigências para o sistema

A linguagem APT fornece os seguintes elementos geométricos: pontos, conjuntos de pontos ou percursos, linhas, planos, vetores, cilindros circulares, cilindros cônicos, esferas, cones, quadráticas (elipsóides, parabólicas, etc), curvas splines, matrizes e, em algumas versões do APT, uma função para superfícies esculpidas. computacional.

Os comandos de movimento no APT são especificados em coordenadas absolutas ou incrementais. Os comandos:

GOTO/ (posição absoluta)

GODLTA (movimento incremental)

refere-se a estes tipos de movimentos. O comando “GO” não controla somente a direção do movimento da ferramenta (para cima – up, para baixo – down, para a direita – right, para a esquerda – left, para trás – back, para frente – forward), mas a orientação da ferramenta com a respectiva superfície de comando. Os comandos TLLFT, TLRGT e TLON indicam a posição do eixo da ferramenta em relação à

respectiva superfície de comando. Na figura 2.8, a superfície de comando e a superfície de verificação são planos contendo as linhas L1 e L2 respectivamente e paralelos aos eixos da ferramenta. A superfície da peça é o plano contendo ambas as linhas L1 e L2. Para esta figura, os movimentos de comando APT são:

GOFWD/TLRGT, L1, O, L2

GORG/TLRGT, L2, ...

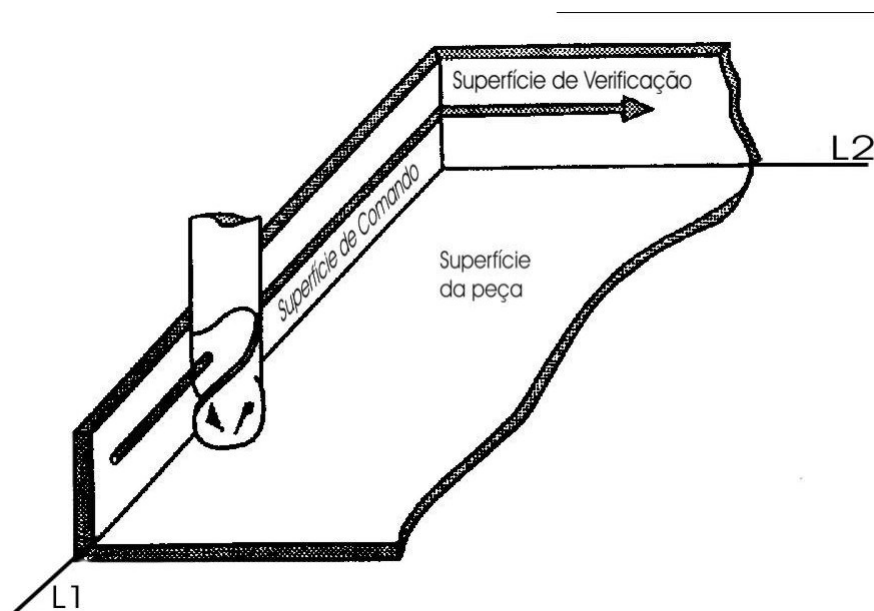


FIGURA 2.7 – Superfícies de comando e verificação de um fresamento

Em muitos casos o desenho da peça a ser usinada não contém os valores dimensionais necessários para gerar os comandos APT. É possível, então, desenvolver equações matemáticas utilizando a notação APT. Por exemplo, para calcular o comprimento da hipotenusa de um triângulo retângulo com base B e altura H, têm-se seguinte equação APT:

$$\text{HYPOT} = \text{SQRTF} (B^{**}2 + H^{**}2).$$

Pessoas familiarizadas com o FORTRAN reconhecem que a notação do APT é a mesma. Todas as operações básicas (+, -, *, **, /) e as funções (seno, co-seno, tangente, raiz quadrada, etc) estão disponíveis.

Também, a lógica aritmética pode ser utilizada dentro de uma equação APT, como por exemplo:

$$\text{CUTTER}/(B \cdot A + 3.0 - D)$$

Onde, B, A e D são parâmetros definidos previamente.

É possível, também efetuar loops, isto é, quando uma mesma operação é executada por diversas vezes dentro de uma tarefa de usinagem.

2.9 - PÓS-PROCESSADORES

O software de CNC deve ser capaz de produzir um programa em um formato único para cada unidade de comando. A parte mais importante da geração de um percurso de ferramenta é a integridade dos dados. O gerador de programa de usinagem deverá ser preciso e pronto para ser utilizado para qualquer máquina CNC. Isto significa que um programa completo não deverá exigir edições, otimizações, mistura com outros programas ou qualquer atividade manual. Pode-se atingir nossos objetivos somente através de um bom estilo de programação e um pós-processador configurado para cada tipo diferente de máquina CNC.

Um pós-processador de alta qualidade é, provavelmente, a mais importante peça de um software de CNC. Quando se entra com os valores de dados no software, os valores que descrevem a forma da peça, valores de corte, velocidades e muitos outros são analisados, organizados e criam um banco de dados. Este banco de dados representa a geometria da peça, os movimentos da ferramenta e outras funções. O sistema CNC não pode entender estes dados, apesar da sua precisão. O sistema CNC exige também letras e símbolos especiais em determinados formatos. Para complicar ainda mais, cada sistema CNC é diferente. Alguns códigos de programas são exclusivos para uma determinada máquina, alguns são comuns entre vários comandos. A finalidade de um pós-processador é a utilização de uma base de dados de valores numéricos, baseado nas informações do programador e converter esta base de dados em um código específico para cada tipo de máquina.

Adaptando um pós-processador

Comumente, um pós-processador fornecido pelo mercado é mais ou menos genérico e deve ser adaptado a uma máquina específica. Para desenvolver um pós-processador caseiro, têm-se de adaptar um pós-processador genérico fornecido por um desenvolvedor de softwares. O processo dependerá do tipo do pós-processador e do seu formato.

O programador CNC deverá conhecer muito bem a máquina e os ciclos do comando CNC. Também é necessário um conhecimento profundo dos métodos de programação manual e as respostas para as seguintes perguntas: Têm-se capacidade de desenvolver um pós-processador específico? Qual será a utilidade desta especificidade? Também será importante conhecermos os métodos de usinagem e, principalmente, uma linguagem de alto nível para o desenvolvimento do pós-processador.

No capítulo seguinte é apresentada a proposta de desenvolvimento de um protótipo para a geração de programas CNC com pós-processador já adaptado especificamente para o comando MACH9MP.

CAPÍTULO 3

PROPOSTA DE UM EDITOR/SIMULADOR CN

3.1 – ANÁLISE DO AMBIENTE DE INTERFACE PROPOSTO

Para o design da interface do protótipo proposto neste trabalho partiu-se dos princípios básicos de usabilidade que envolve, segundo (Romani & Baranauskas98), três categorias principais: facilidade com que os usuários novos podem efetivamente começar a interagir e alcançar máximo desempenho, multiplicidade de maneiras com que o usuário e o sistema trocam informações e do nível de suporte que o usuário tem para determinar seu sucesso e fazer a avaliação de suas metas.

Tentou-se também, respeitar o conjunto de heurísticas desenvolvidas por (Nielsen93) sobre problemas de usabilidade, de forma a tentar evitá-los ou, no mínimo, minimizá-los. Estas heurísticas de usabilidade foram respeitadas com base na apropriação dos conceitos e no uso de técnicas da Engenharia Semiótica.

Segue o conjunto de heurísticas descrito em (Romani & Baranauskas98), com colocações sobre a maneira em que o ambiente as considera:

- Estética e design mínimos: Os diálogos não contêm informações irrelevantes ou que sejam raramente necessárias, o que comprometeria a visibilidade;
- Coerência entre o sistema e o mundo real: O sistema fala a língua do usuário, com palavras, frases e conceitos familiares ao usuário, ao invés de termos voltados ao sistema. As informações estão em uma ordem lógica e natural;
- Reconhecer é melhor do que lembrar: O sistema trás objetos, ações e opções visíveis. As instruções para usar o sistema são visíveis ou fáceis de serem recuperados sempre que necessárias;
- Consistência e padronização: usuários não devem ter surpresas se diferentes palavras, situações ou ações significam a mesma coisa. O protótipo segue uma plataforma de convenções;
- Controle e liberdade de ações: Usuários freqüentemente escolhem funções erradas e necessitam de clareza nas opções de “saídas de emergência” sem ter que atravessar um extenso diálogo;

- Flexibilidade e eficiência de uso: O sistema acomoda usuários novatos e experientes, permitindo a estes ajustar suas ações mais freqüentes;
- Documentação e ajuda: Qualquer informação é facilmente encontrada e enfoca a tarefa do usuário.

3.2 – A INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR

A interação Humano-Computador é uma área de estudos relativamente recente, mas com desenvolvimento surpreendente, abrangendo os mais diferentes tipos de sistemas computacionais.

O objetivo principal da IHC é a satisfação do usuário no processo de interação com sistemas computacionais. Com este fim, é feita a análise dos fatores envolvidos no desenvolvimento de interfaces, bem como o impacto destas no meio onde atuam. O usuário é o foco principal, para o qual direcionam-se todos os estudos e desenvolvimentos.

Para (Souza *et al.* 99) a interação é um processo que engloba as ações do usuário sobre a interface de um sistema e suas interpretações sobre as respostas reveladas por esta interface.

A partir dessas definições pode-se dizer que a interface é um sistema de comunicação, pois é tanto um meio para a interação usuário-sistema, quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para esse processo comunicativo.

No caso da interface do centro de usinagem Discovery4022 percebe-se claramente uma série de dificuldades para interagirmos com o comando da máquina. A posição do teclado é extremamente incomoda, situando-se a uma altura de 1,60m em relação ao solo. Para uma pessoa de estatura mediana (aproximadamente 1,75m), isto nos obriga a trabalhar com os braços suspensos no ar acarretando um esforço físico enorme. Na figura 3.1 pode-se verificar a posição em que ficam os braços durante a tarefa de digitação de programas de usinagem na interface.

Outra dificuldade é em relação ao teclado. As teclas exigem força física para serem pressionadas. Além disso, existe uma confusão entre teclas numéricas e as com letras e códigos. Geralmente, durante o processo de digitação têm-se que procurar onde está determinada tecla.

Estas máquinas CNC geralmente estão instaladas em ambientes fabris ruidosos, com tráfego constante de peças e equipamentos.

O ideal é que o trabalho de elaboração e transferência de programas de usinagem para a memória da máquina seja feito em um ambiente isolado, longe de barulho a fim de evitarmos erros durante esta etapa de planejamento. Isto é conseguido através da utilização de um editor de programas CNC externo, instalado em um microcomputador e a transferência de programas para a memória da máquina seja feita através de cabos.

É conhecido que um grande número de empresas não possui um ambiente e ferramentas computacionais dedicadas à programação off-line. O protótipo descrito neste trabalho apresenta-se como uma alternativa a estas empresas.



FIGURA 3.1 – Painel de comando da Discovery4022

3.3 – USABILIDADE DO SISTEMA

A interface do usuário é a parte do artefato de software com o qual o usuário entra em contato – física, perceptiva e cognitivamente – na realização de tarefas no seu domínio de atividades (Moran81). Portanto, uma interface usuário-sistema de qualidade deve auxiliar ao usuário na obtenção de um máximo de produtividade de um dado software, minimizando o esforço despendido na realização desta tarefa (Prado98). O que se busca é aumentar a eficiência do software por meio da comunicabilidade e a usabilidade do sistema.

Segundo (Leite98), a usabilidade deve ser vista como a qualidade que ao mesmo tempo satisfaz as necessidades, se acopla às capacidades e conhecimentos de usuários, considera o impacto da tecnologia no contexto de trabalho e integra o usuário no seu contexto de trabalho. O desafio para a usabilidade requer o design de equipamentos integrados ao ambiente de trabalho de maneira a aumentar as capacidades (principalmente as intelectuais) de usuários considerando-os como pessoas inteligentes dotadas de capacidade de compreensão, aprendizado, interpretação e expressão ao invés de restringi-los, considerando-os como “idiotas” destinados à execução de trabalhos mecânicos. Ou seja, é necessário ver a aplicação como fornecedora ao usuário de mecanismos para que este compreenda os propósitos de seu design, independentemente do seu grau de experiência face à tecnologia.

3.4 – PROCESSO DE DESIGN DA INTERFACE

Como o processo de design deve ter o comprometimento do projetista com os processos cognitivos e comunicativos do usuário, faz-se necessário um planejamento dessa tarefa, visando gerar modelo e documentação formais para a orientação do projetista ao longo do projeto e da implementação.

Souza (Souza *et.al.*99) afirma que o processo de design de interfaces inicia-se com a análise de usuários e tarefas (que constitui a análise dos requisitos) e deve ser conduzido num processo cíclico ou iterativo no qual cada passo apresenta evoluções da etapa anterior. Cada ciclo envolve a especificação da funcionalidade e do modelo de interação, a prototipação de interfaces (que possibilita a interação de acordo com o

modelo especificado) e a sua avaliação junto aos usuários. A partir desta avaliação, um novo ciclo de especificação, prototipagem e avaliação devem ser realizadas.

O design envolve a concepção e a especificação da interface. A sua prototipação pode ser realizada utilizando-se ferramentas baseadas em “widgets” (dispositivos de interação que são apresentados na tela para serem acionados com o mouse ou outro dispositivo equivalente). Em alguns métodos, as etapas de design e prototipação são desempenhadas conjuntamente, isto é, a interface é concebida e concretizada diretamente na construção de um protótipo. Em outros, o design pode ser especificado numa notação apropriada antes da construção de um protótipo (Leite98).

No contexto deste trabalho, levou-se em consideração a realidade de empresas com fluxo de informações não integrado, isto é, o fluxo de informações é feito basicamente através de papel e a transmissão das informações contidas nestes papéis para a máquina CNC é feita através da digitação dos programas no teclado da interface da máquina. Para estas empresas a utilização de uma interface gráfica que facilite este processo de transferência agilizará enormemente este processo. Em diversos sistemas CAM já estão implementadas funções de usinagem, conhecidas como features de usinagem, que associam a uma determinada feature todo um processo de usinagem. Por exemplo, existem as features para a usinagem de furos, que efetuam uma leitura no desenho da superfície da peça a ser usinada, reconhecem os pontos onde será realizada uma operação de furação e aplica a estes pontos, funções específicas de furação.

No processo de design da interface deste protótipo optou-se pela utilização de “widgets” representativos das diversas features de usinagem disponíveis no comando MACH9MP. A seguir define-se o termo feature e como ele foi utilizado no processo de projeto deste protótipo.

3.5 - TECNOLOGIA DE FEATURES

Features são formas genéricas para as quais pode-se associar um conceito de engenharia (Shah 1992). Produtos para fins mecânicos podem ser modelados a partir de diferentes perspectivas. Atualmente, softwares para modelagem de sólidos baseado

em features trazem embutidos várias opções relacionadas com o processo de fabricação a ser empregado.

Diversos pesquisadores defendem que features de manufatura podem ser reconhecidas e extraídas a partir do modelo geométrico do produto (Jiang at.al. 1999, Sheng e Srinivasan 1999). Esta tecnologia vem sendo implementada em vários pacotes comerciais para CAM.

De certa forma, o que se espera é o que o projetista possa modelar seus produtos utilizando as features de manufatura disponíveis. Isto irá facilitar o trabalho de planejamento e geração do código CN. Por outro lado, isto implica em *impor* certas limitações ao projetista. Na modelagem de superfícies complexas, de um modo geral este tipo de técnica não é bem aceito.

O conceito e implementação de features serão, neste trabalho, levemente modificado. O que será mostrado mais adiante é que um editor de programas pode ser baseado em features de fresamento com o intuito de reduzir a geração de erros e o tempo de programação. Isto, até certo ponto, parece ser um contra-senso. Entretanto, tendo como escopo um ambiente de programação em 2 ½ eixos onde as informações primárias (modelo do produto) são recebidas em papel pode-se demonstrar que tal tecnologia apresenta vantagens significativas.

O ambiente de programação em 2 ½ eixos pode ser definido como aquele onde a terceira dimensão - geralmente o eixo Z no fresamento em centros de usinagem verticais - é definida no momento do posicionamento da ferramenta e mantida constante durante o restante da usinagem. Em outras operações mais simples, ex.: a furação, alargamento e mandrilamento, somente o movimento de um eixo é necessário. Os demais são comandados apenas durante o posicionamento. A rigor a definição deste tipo de ambiente deve ser programação em até 2 ½ eixos.

Pode-se comprovar (Eversheim at.al. 1994) que várias peças são inteiramente usinadas apenas com esses recursos cinemáticos. Dessa forma, pode-se associar poucas features de usinagem relacionadas com a cinemática necessária. Em centros de usinagem verticais, pode-se definir as seguintes features primitivas:

- posicionamento (determina as coordenadas iniciais da ferramenta em X, Y e Z);

- movimento linear (realiza uma interpolação linear em um dos três planos: X-Y, X-Z ou Y-Z);
- movimento circular (realiza uma interpolação linear em um dos três planos: X-Y, X-Z ou Y-Z) e
- tempo de espera (mantém o movimento de corte, porém congelando o movimento de avanço por um determinado tempo).

Essas features associadas possibilitam realizar, diretamente ou por aproximação, as seguintes operações de usinagem:

- fresamento de contornos;
- furação;
- alargamento e
- mandrilamento.

Não obstante, features mais complexas podem ser compostas a partir da união das genéricas definidas anteriormente. Em vários comandos comerciais observa-se o uso de “ciclos fixos” os quais são, em essência, composição de features genéricas repetidas.

Features conhecidas como de forma ou de posição podem representar a maioria dos tipos de features utilizadas em sistemas CAD/CAM. Cada uma possui um conjunto de possíveis métodos de manufatura, por exemplo: um buraco pode ser obtido por uma operação de furação, rebaixamento ou mandrilamento. Este inter-relacionamento entre geometria e informações tecnológicas é chamado de feature de manufatura (Canciglieri99).

As features de manufatura e de processo são dependentes uma da outra e ambas devem ser consideradas em um processo de remoção de material. Quando as features de forma representam o percurso gerado por uma ferramenta de corte, são chamadas de feature de usinagem. As features de forma, de acordo com o processo a que se destinam, tem uma sub classificação como segue:

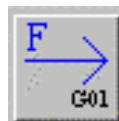
- ♣ Features de formas rotacionais (processo de torneamento);
- ♣ Features de formas prismáticas (extrusão, fresamento, furação ou processos similares);
- ♣ Features para chapas de metal (processos de conformação e de repuxo);

♣ Features de fundição ou moldagem (processos de fundição em moldes, forjamento, injeção em moldes);

No protótipo em desenvolvimento, optou-se por representar as diversas features de manufatura através ícones que possibilitam acesso ao respectivo formulário de programação. Por exemplo, para programar as diversas funções de posicionamento representadas pelas funções G disponíveis no comando MACH9MP foram criados os seguintes ícones representativos destas features:



Movimento de interpolação linear de posicionamento em rápido. (G00)



Movimento de posicionamento linear com avanço de trabalho. (G01)



Movimento de interpolação circular no sentido horário. (G02)



Movimento de interpolação circular no sentido anti-horário. (G03)



Movimento de concordância de duas retas tangentes a um arco. (G05)



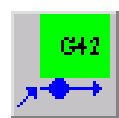
Movimento em rápido para o “zero máquina” abortando o corretor de ferramentas. (G20)



cancela compensação de raio de ferramenta. (G40)



Compensa raio de ferramenta à esquerda do contorno. (G41)



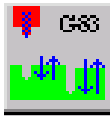
Compensa raio de ferramenta à direita do contorno. (G42)



Ciclo de furação. (G81)



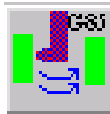
Ciclo de rebaixamento. (G82)



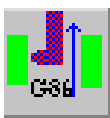
Ciclo de furação com descarga. (G83)



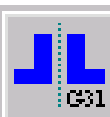
Ciclo de roscamento. (G84)



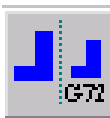
Mandrilamento. (G85)



Ciclo de mandrilamento com parada de ferramenta. (G86)



Liga função espelho. (G31)



Liga função escala. (G72)



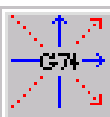
Aciona corretor de fixação. (G45)



Tempo de permanência (dwell). (G04)



Ciclo de cavidades retangulares, quadradas ou circulares. (G26)



Rotação de eixos. (G74)

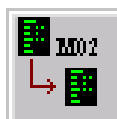
Para representar as funções miscelâneas disponíveis no comando MACH9MP, lança-se mão das seguintes features:



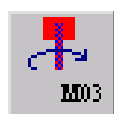
Parada do programa. (M00)



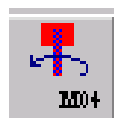
Parada opcional. (M01)



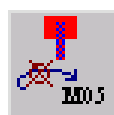
Fim de sub-programa. (M02)



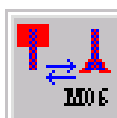
Rotação do eixo árvore à direita. (M03)



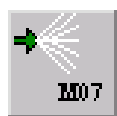
Rotação do eixo árvore à esquerda. (M04)



Parada do eixo árvore. (M05)



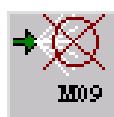
Troca de ferramenta. (M06)



Liga refrigeração alta pressão. (M07)



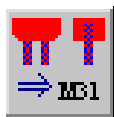
Liga refrigeração pressão normal. (M08)



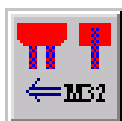
Desliga refrigeração. (M09)



Fim de programa. (M30)



Avança TAF. (M31)

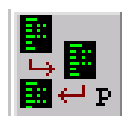


Recua TAF. (M32)

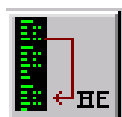
Para representar as funções auxiliares e as funções de comunicação do microcomputador com a máquina CNC, utiliza-se as seguintes features:



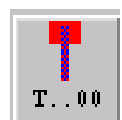
Número de seqüência



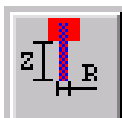
Desvio para sub-programa



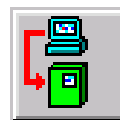
Desvio de programa



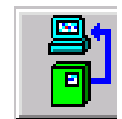
Definição de ferramentas



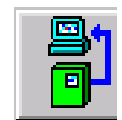
Corretor de ferramentas



Envio de programas



Recepção de programas



Quebra de conexão



Configuração dos parâmetros de comunicação

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA DO PROJETO

4.1 – IMPLEMENTAÇÃO DO PROJETO

O desenvolvimento total do projeto foi dividido em três fases. Na primeira fase foi elaborado o programa de computador base do protótipo, em seguida, em uma segunda fase, o protótipo foi avaliado em teste prático no laboratório de usinagem da UFPR e por último, em uma terceira fase, uma avaliação prática do protótipo em chão de fábrica. Estas três fases serão descritas com detalhes neste capítulo.

4.2 – DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

O projeto foi implementado utilizando a linguagem de programação Visual Basic por ser uma linguagem de larga utilização e que poderia fornecer todas as ferramentas necessárias para o desenvolvimento do projeto, tais como editor de texto, banco de dados e representação gráfica de informações contidas em banco de dados. Primeiramente foi definido qual o fluxo que as informações deveriam seguir dentro do protótipo. Para isto foi elaborado o seguinte algoritmo:

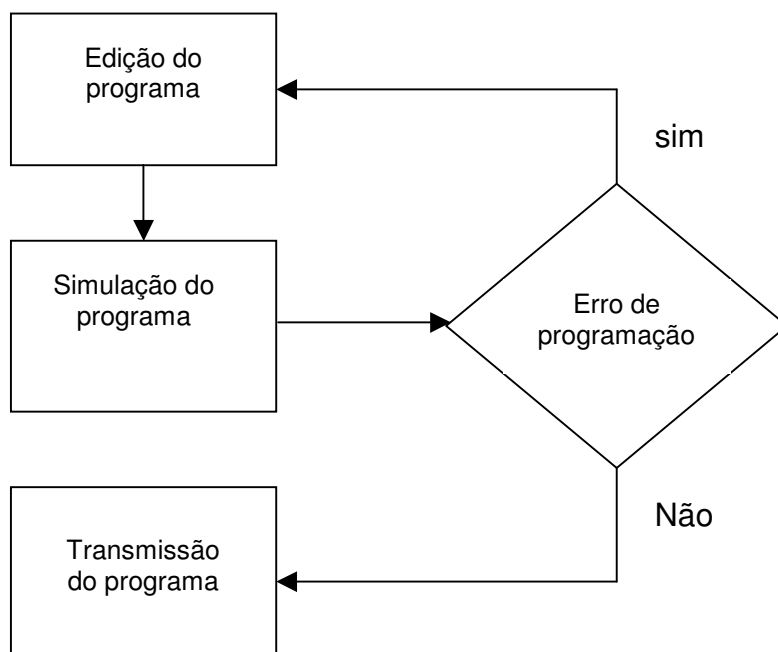


FIGURA 4.1 – Fluxograma de informações

Para atender ao fluxograma acima, a metodologia empregada para o desenvolvimento do software foi a divisão em módulos funcionais, cada módulo responsável pela execução de uma tarefa como segue:

Módulo de programação

Dirigido à edição de programas e subprogramas novos utilizando recursos gráficos através de ícones, gerenciamento do banco de dados de ferramentas, corretores de fixação, alteração de programas já existentes, gravação e leitura de programas em discos flexíveis.

Módulo de Simulação

Destinado à simulação gráfica de programas e subprogramas para centro de usinagem CN.

Módulo de Transmissão

Dirigido ao processo de transferência de programas armazenado no microcomputador para o buffer da máquina CN.

4.2.1 - ESTRUTURA FUNCIONAL DO EDITOR/SIMULADOR

O protótipo roda em ambiente Windows e pode ser instalado no disco rígido na pasta arquivo de programas. Dentro da pasta do diretório principal do programa é criada uma outra pasta *Programas* onde são armazenados os programas principais e uma outra pasta *SubProgramas* onde são armazenados os subprogramas que irão fazer parte de um programa principal.

No esquema básico de trabalho (para programas novos) pode-se distinguir as etapas seguintes sugeridas por (Telles85):

1º) *Edição*: Utilizando o desenho do produto e tabelas tecnológicas, edita-se o programa CN.

2º) *Simulação*: A trajetória do centro da ferramenta é visualizada no monitor de vídeo. Caso haja necessidade de alterações retorna-se à primeira etapa.

3º) *Transferência de programas*: Com o programa já otimizado pode-se emitir listagem impressa do mesmo, fazer a gravação em disco flexível ou ainda, a transmissão direta do programa para a memória da máquina CN.

4º) *Testes*: As primeiras peças do lote são executadas com atenção especial (normalmente com a assistência do programador) e, havendo necessidade de algumas alterações, elas poderão ser feitas diretamente no painel da máquina ou com o auxílio do editor.

5º) *Execução do lote de peças*: Após a otimização do programa, a máquina ferramenta entra em regime normal de produção.

4.2.2 - OPERAÇÃO DO SOFTWARE

Para ter acesso a ferramenta, o programador deverá dar um duplo clique no ícone “Editor CNC” na tela de entrada do Windows ou através do menu “Iniciar”, “Programas”, “Editor CNC”. Para o programador, é então apresentada a tela de edição de programas.

Módulo de Edição:

A finalidade desta interface é proporcionar ao programador de centros de usinagem um ambiente computacional onde ele possa elaborar um programa CNC usando controles de entrada de dados. Através destas caixas de texto, as informações que irão formar um programa são coletadas e armazenadas para posteriormente compor uma série de eventos que irão descrever o processo de usinagem da peça, ou seja, gerarão a listagem (ou programa) CNC. Estes objetos são parte da linguagem de programação Visual Basic e são compostas por janelas, menus e caixas de diálogo.

Janela é uma área da tela do computador onde são realizadas as operações relativas a um determinado comando efetuado pelo programador. Estas janelas são determinadas e configuradas segundo um planejamento prévio.

- | | |
|---------------------|---------------------|
| ○ Caixas de diálogo | ○ Campo de edição |
| ○ Botão de escolha | ○ Texto estático |
| ○ Botão de rádio | ○ Caixa de listagem |

- Botão de pressionar
- Caixa de edição

Utilização do módulo edição:

Para a completa utilização do software, o usuário deverá ter um prévio conhecimento dos comandos básicos de ambiente operacional Windows.

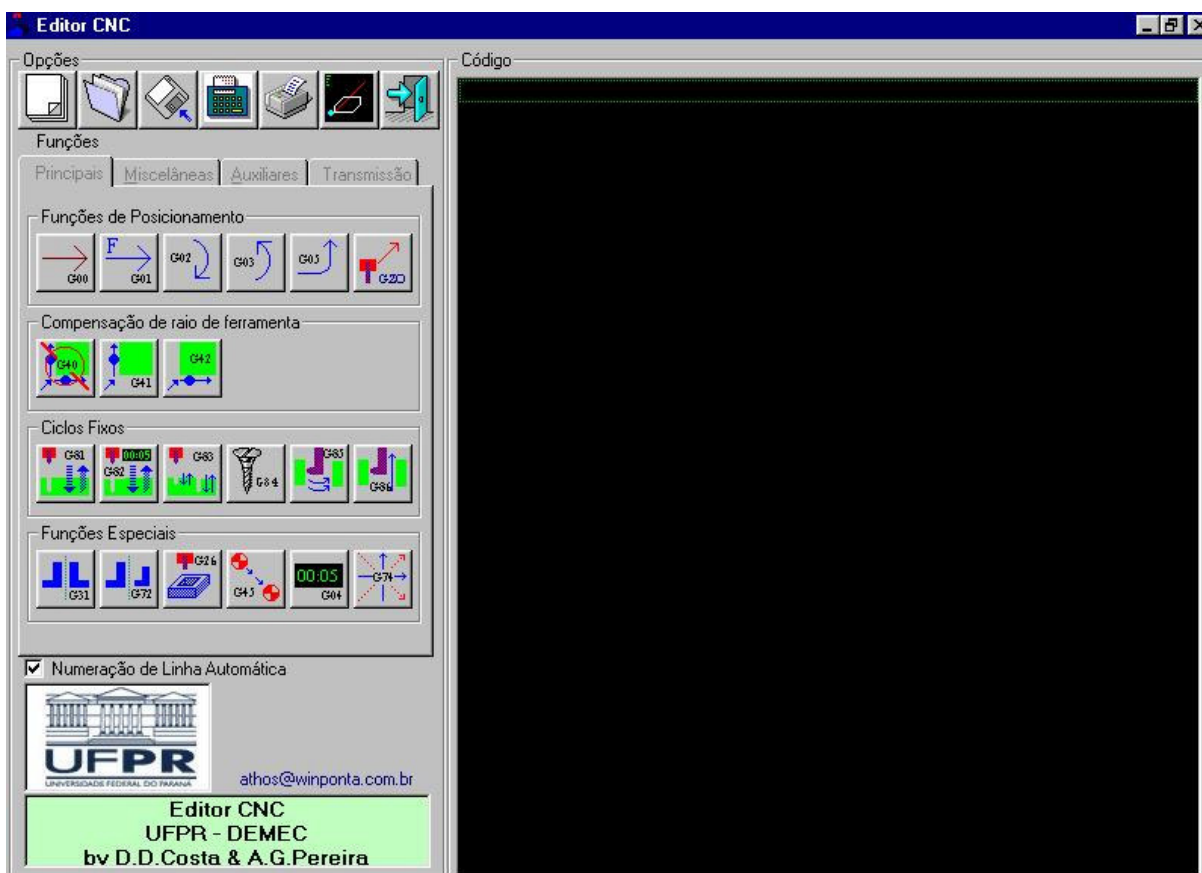


FIGURA 4.2 – Módulo de Edição.

Esses comandos resumem-se a utilização de barras de rolagem, navegação através de menus utilizando o mouse ou através de teclas de atalho, abrir e gravar e imprimir arquivos.

Iniciado o programa têm-se acesso ao módulo de edição do software (figura 4.2), onde são apresentados os principais ícones de uma forma lógica para facilitar ao usuário o seqüenciamento das operações.

Na parte superior à esquerda, são apresentados os seguintes ícones dentro do menu opções:

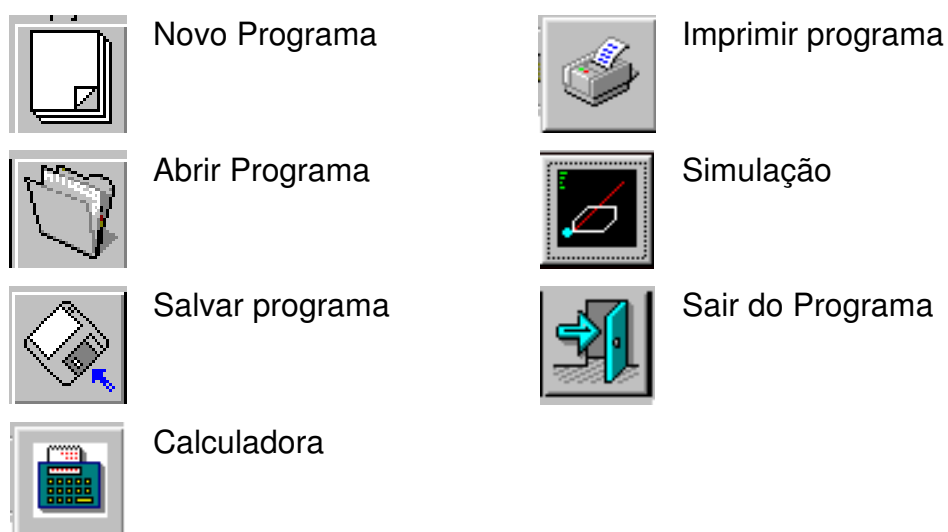


FIGURA 4.3 – Botões de acesso aos módulos do programa

Novo Programa

O botão “Novo Programa” abre a caixa de diálogo que inicia a criação de um novo programa de usinagem ou de um subprograma que fará parte de um programa principal. A figura 4.4 representa a seqüência de preenchimento desta caixa de diálogo:

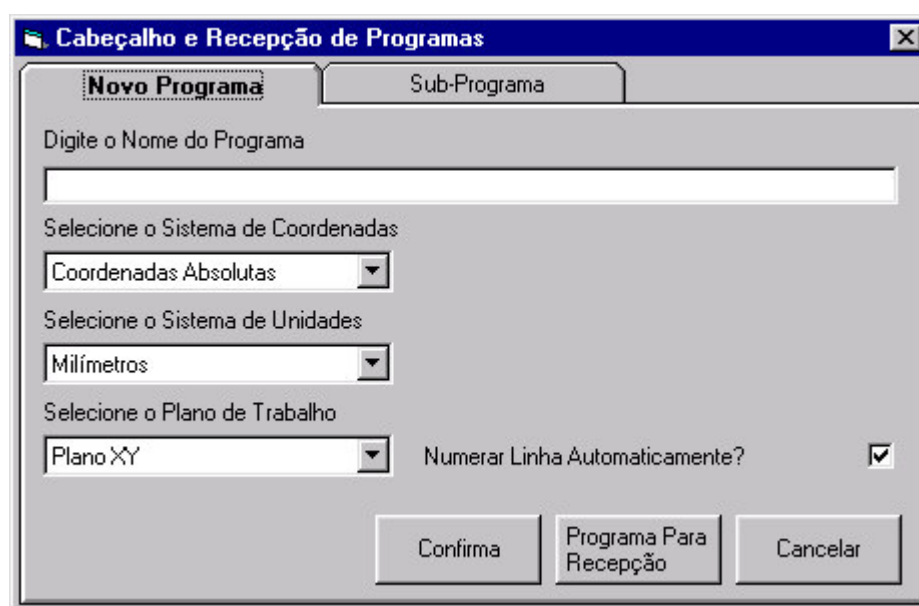


FIGURA 4.4 – Preenchimento da caixa de diálogo Novo Programa.

Com a abertura da caixa de diálogo digita-se inicialmente o nome do programa que se está criando. A seguir será informado em qual sistema de coordenadas se irá trabalhar, se em incremental ou em coordenadas absolutas. Este campo é preenchido por meio de um sistema de seleção sendo de preenchimento obrigatório. Como padrão, a opção de coordenadas absolutas está ativa. A seguir selecionar-se-a o sistema de unidade de medida, se em milímetros ou em polegadas, também pelo modo de seleção de opções e, por último selecionar-se-a em qual plano de trabalho a ferramenta irá se deslocar, se em XY, XZ ou YZ .

Com estas informações, o protótipo inicia a tarefa de confecção de um programa de usinagem já com os devidos códigos associados às condições determinadas acima.

Abrir Programa

Este botão permite acesso à pasta onde estão arquivados nossos programas e subprogramas de usinagem. A seleção do programa ou subprograma será feita através do mouse ou utilizando-se das barras de rolagem. À direita têm-se a listagem dos programas e à esquerda os subprogramas indicados por números.

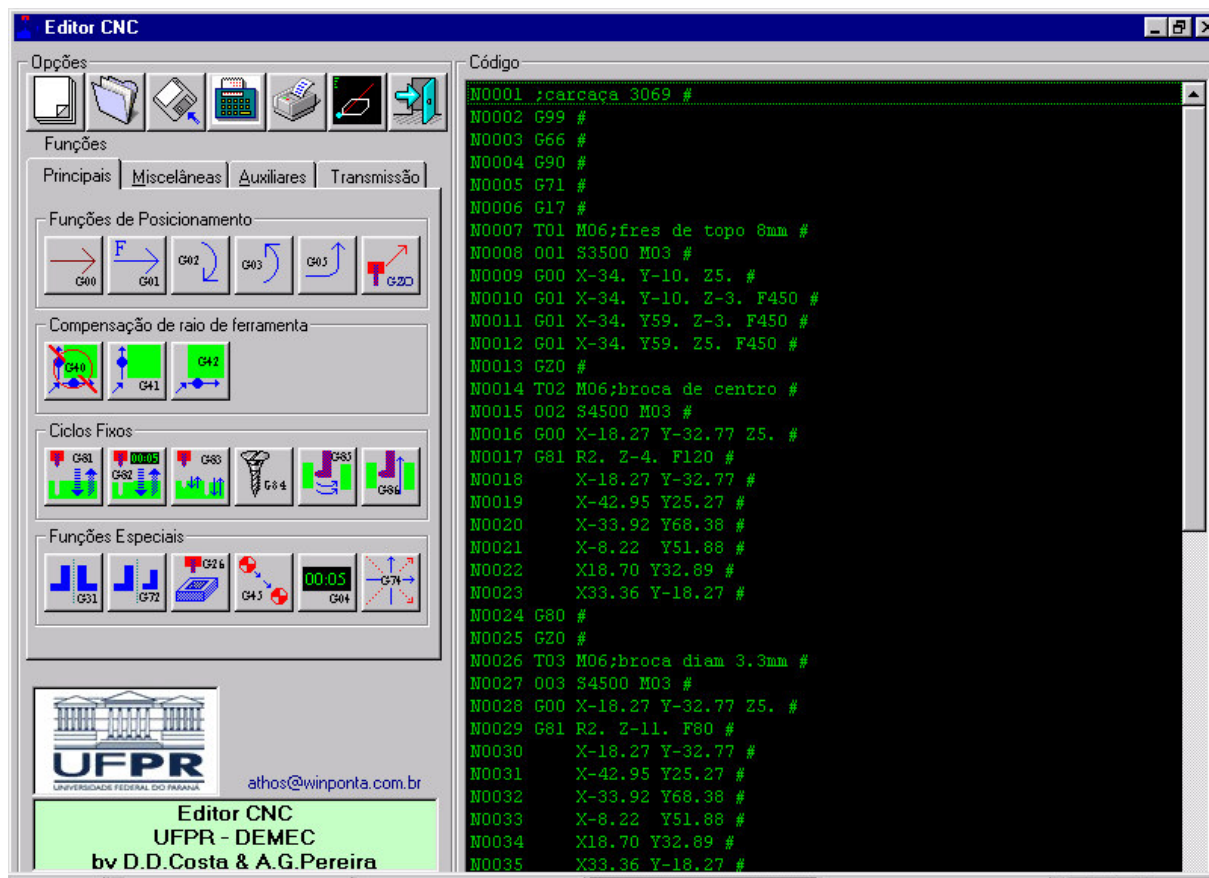


FIGURA 4.5 – Programa aberto na tela do editor

Salvar programa

Este botão executará o salvamento dos nossos programas ou subprogramas automaticamente dentro de uma pasta denominada programas e dentro do diretório “Editor CNC” em arquivos de programas.

Calculadora

Este botão carrega na tela de programação calculadora científica do Windows para auxílio ao processo de programação.

Imprimir

Este botão será utilizado para imprimir diretamente o programa e os subprogramas que estão listados na tela do editor

Formulário para programações das funções

Neste formulário descreve-se as características gerais das funções empregadas em programas de usinagem. No primeiro formulário têm-se as funções preparatórias, no segundo as funções miscelâneas e no terceiro e último formulário as funções auxiliares.



FIGURA 4.6 – Formulário de acesso às funções.

4.2.3 - FUNÇÕES PRINCIPAIS

As funções principais ou preparatórias são as funções G que definem para o controle os modos de operação do programa. Dentro do formulário pode-se programar as funções de posicionamento representadas pelas features G00, G01, G02, G03, G05 e GZ0, de compensação de raio de ferramenta G40, G41 e G42, ciclos fixos G80, G81, G82, G83, G84, G85 e G86 e as funções especiais G31, G72, G26, G45, G04 e G74.

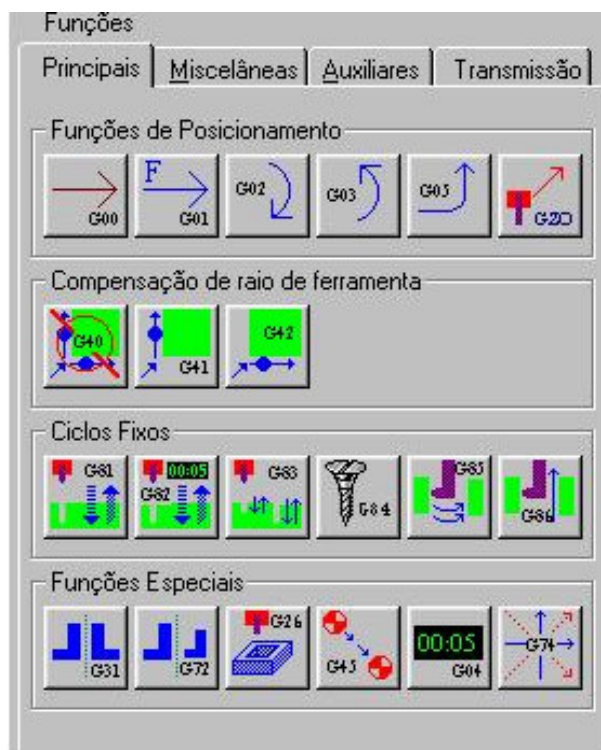


FIGURA 4.7 – Formulário de funções.

Posicionamento em rápido

Interpola os eixos para se movimentarem ao longo de uma linha reta até o ponto programado com a velocidade rápido implantado no sistema. No caso da DISCOVERY 4022 o avanço em rápido é de 15 m/min.

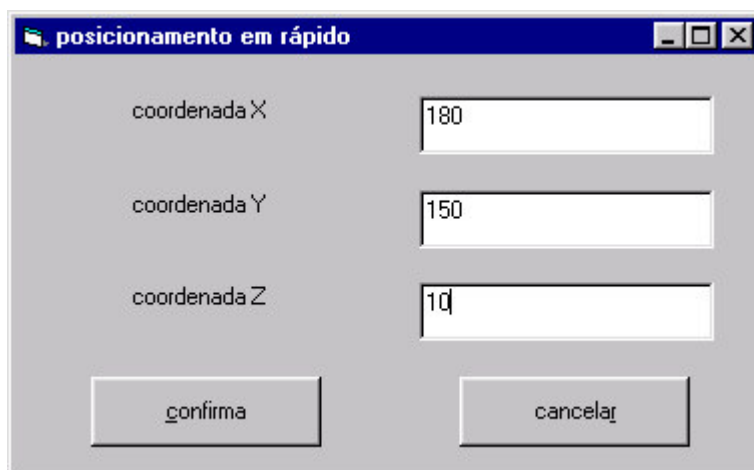
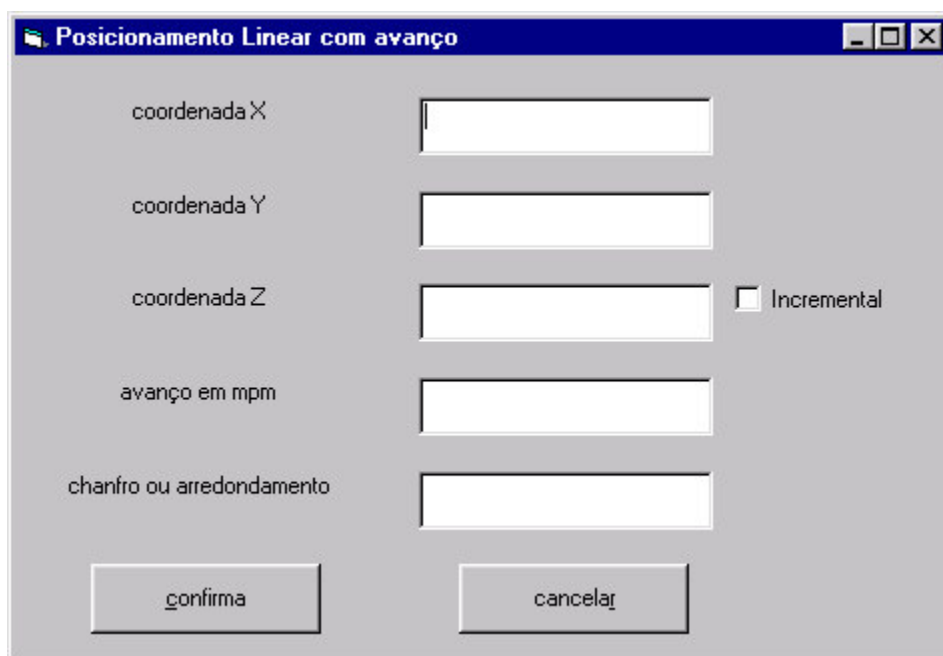


FIGURA 4.8 - Feature de posicionamento em rápido

Posicionamento linear com avanço de trabalho

Informa os eixos para se movimentarem ao longo de uma linha reta a uma velocidade específica programada com uma função F.



The image shows a software dialog box titled "Posicionamento Linear com avanço". It has a standard Windows-style title bar with minimize, maximize, and close buttons. The dialog contains five input fields stacked vertically, each with a label to its left: "coordenada X", "coordenada Y", "coordenada Z", "avanço em mpm", and "chanfro ou arredondamento". To the right of the "coordenada Z" field is a checkbox labeled "Incremental". At the bottom of the dialog are two buttons: "confirma" on the left and "cancelar" on the right.

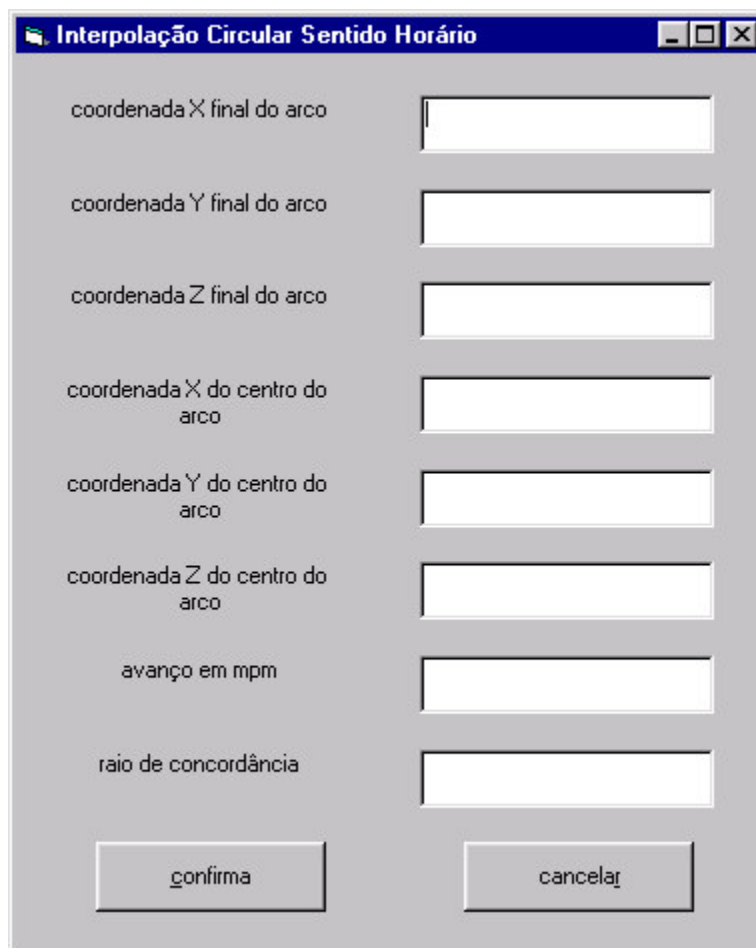
FIGURA 4.9 - Feature de posicionamento linear com avanço de trabalho.

Funções G de interpolação circular

O controle utiliza duas funções G para produzir trajetórias circulares e arcos com o movimento de dois eixos simultâneos. O arco é produzido através da movimentação simultânea entre dois eixos, X e Y caso a interpolação seja realizada no plano definido por G17. As funções G que definem a interpolação circular são:

- G02: Interpolação circular no sentido horário, faz dois eixos moverem-se ao longo de um arco na direção horária.

- G03: Interpolação circular no sentido anti-horário, faz dois eixos moverem-se ao longo de um arco na direção anti-horária.



A imagem mostra uma janela de software com o título "Interpolação Circular Sentido Horário". A janela possui um fundo cinza e uma barra de título azul com o ícone de uma pasta. Abaixo do título, há sete campos de entrada retangulares brancos, cada um precedido por um rótulo em português. Os rótulos são: "coordenada X final do arco", "coordenada Y final do arco", "coordenada Z final do arco", "coordenada X do centro do arco", "coordenada Y do centro do arco", "coordenada Z do centro do arco", "avanço em mpm" e "raio de concordância". No rodapé da janela, há dois botões retangulares cinza: "confirma" à esquerda e "cancelar" à direita.

Rótulo	Campos de Entrada
coordenada X final do arco	<input type="text"/>
coordenada Y final do arco	<input type="text"/>
coordenada Z final do arco	<input type="text"/>
coordenada X do centro do arco	<input type="text"/>
coordenada Y do centro do arco	<input type="text"/>
coordenada Z do centro do arco	<input type="text"/>
avanço em mpm	<input type="text"/>
raio de concordância	<input type="text"/>

confirma cancelar

FIGURA 4.10 - Tela para programação de interpolação circular sentido anti-horário.

Feature arco tangente

A feature G05 permite programar duas retas que são tangentes a um arco cujo raio e coordenadas de centro são conhecidos. Os pontos de tangência são automaticamente determinados pelo comando, aliviando a necessidade do programador calcular estes pontos. A escolha entre dois pontos de tangência possíveis é determinada pelo sinal do raio especificado pela letra "Q". As coordenadas do

primeiro ponto de tangência podem ser armazenados pelo comando para facilitar o término do percurso neste mesmo ponto se o programador desejar.

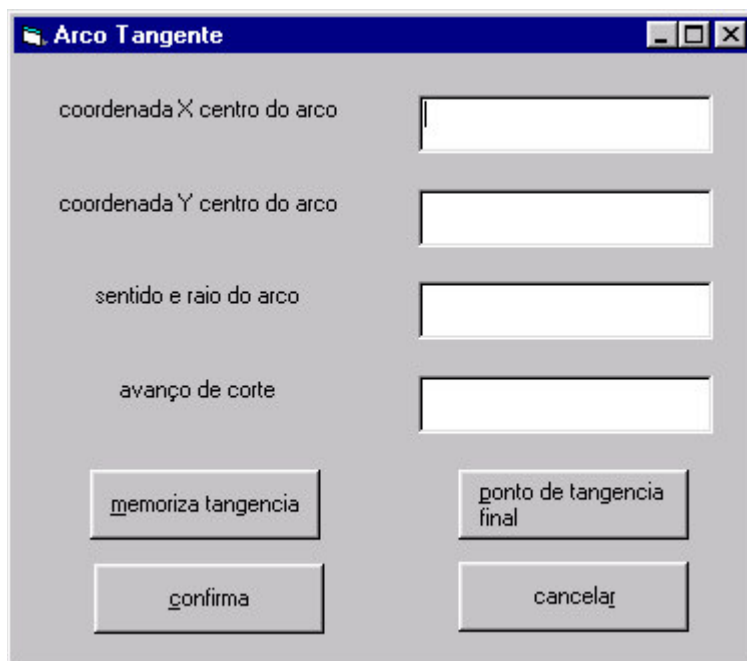


FIGURA 4.11 – Feature arco tangente

Compensação de raio de ferramenta

A compensação de raio de ferramenta permite corrigir dimensões da peça em função do diâmetro da ferramenta. O valor do raio da ferramenta a ser compensado é obtido através do diâmetro da ferramenta, programado-se as dimensões da peça e deixando que o controle compense automaticamente o valor. A compensação poderá ser feita de duas maneiras:

G41 – Ferramenta à esquerda do contorno em usinagem: A feature seleciona a compensação quando a ferramenta se posicionar à esquerda da peça usinada tendo como referência a direção do percurso.

G42 - Ferramenta à direita do contorno em usinagem: A feature seleciona a compensação quando a ferramenta se posicionar à direita da peça usinada tendo como referência a direção do percurso.

A feature G40 cancela as features G41 e G42.



FIGURA 4.12 – Compensação de raio de ferramenta

Ciclos fixos

Neste capítulo vê-se o grupo de funções de ciclos fixos, os quais estabelecem operações de usinagem repetitivas. Acrescentam-se informações numéricas e parâmetros para especificar a ação do ciclo.

Ciclo fixo de furação

Define operações de furação simples, com tempo de permanência opcional no fundo do furo.

 A tela de configuração do ciclo fixo de furação, intitulada "Furação Simples", apresenta os seguintes campos e controles:

- Plano de Retração: Campo de texto para especificar o plano de retração.
- Profundidade de Furo: Campo de texto para especificar a profundidade do furo.
- Avanço de Corte: Campo de texto para especificar o avanço de corte.
- Posicionamento dos Furos: Abaixeira com três opções: "Posicionamento dos Furos" (selecionada), "Circulo de Furos" e "Quadrado ou Retângulo de Furos".
- Coordenada X do Centro do Furo: Campo de texto para especificar a coordenada X do centro do furo.
- Coordenada Y do Centro do Furo: Campo de texto para especificar a coordenada Y do centro do furo.
- Lista de Posições de Furos: Campo de texto para especificar a lista de posições de furos.
- Adicionar Posição dos Furos: Botão para adicionar uma nova posição de furo.
- confirma: Botão para confirmar a configuração.
- cancelar: Botão para cancelar a configuração.

FIGURA 4.13 - Ciclo fixo de furação

Ciclo fixo de furação com permanência

Define uma operação de furação com um tempo de permanência no fundo do furo.

Furação com tempo de permanência

Plano de Retração

Profundidade de Furo

Avanço de Corte

Tempo de Permanência em segundos

Posicionamento dos Furos Círculo de Furos Quadrado ou Retângulo de Furos

Coordenada X do Centro do Furo

Coordenada Y do Centro do Furo

Adicionar Posição dos Furos

Lista de Posições de Furos

FIGURA 4.14 - Ciclo fixo de furação com permanência:

Ciclo fixo de furação com descarga

Define no ciclo de furação a profundidade do furo na qual ocorrerá a descarga do cavaco através de uma permanência ou da retração da ferramenta.

Furação com Descarga de Cavacos

Plano de Retração Delta Incremento Z (opcional)

Profundidade de Furação Mínimo Incremento de Profundidade

Avanço de Corte Retração em Rápido

Incremento Inicial Tempo de Permanência em segundos (opcional)

Posicionamento dos Furos | Círculo de Furos | Quadrado ou Retângulo de Furos

Coordenada X do Centro do Furo

Coordenada Y do Centro do Furo

Lista de Posições de Furos

FIGURA 4.15 - Ciclo fixo de furação com descarga:

Ciclo fixo de roscar

Define um ciclo de rosca direita. Neste ciclo deve-se utilizar um passador de macho flutuante.

FIGURA 4.16 - Ciclo fixo de roscar:

Ciclo fixo de mandrilamento:

Define um ciclo de furação com retração da ferramenta na velocidade de avanço da ferramenta especificada.

Mandrilamento

Plano de Retração

Profundidade de Mandrilamento

Avanço de Corte

Tempo de Permanência em segundos (opcional)

Avanço de Retração (opcional)

Posicionamento dos Furos | Circulo de Furos | Quadrado ou Retângulo de Furos

Coordenada X do Centro do Furo

Coordenada Y do Centro do Furo

Lista de Posições de Furos

Adicionar Posição dos Furos

confirma cancelar

FIGURA 4.17 - Ciclo fixo de mandrilamento:

Ciclo fixo de mandrilamento com retração do eixo parado:

Define um ciclo de furação com retração da ferramenta com eixo parado, isto é, sem girar.

Mandrilamento com saída de eixo parado

Plano de Retração

Profundidade de Mandrilamento

Avanço de Corte

Tempo de Permanência em segundos (opcional)

Avanço de Retração (opcional)

Posicionamento dos Furos | Circulo de Furos | Quadrado ou Retângulo de Furos

Coordenada X do Centro do Furo

Coordenada Y do Centro do Furo

Lista de Posições de Furos

Adicionar Posição dos Furos

confirma cancelar

FIGURA 4.18 - Ciclo fixo de mandrilamento com retração do eixo parado

Funções especiais

Funções especiais são funções destinadas a aliviar a tarefa de programação tornando os programas mais curtos. Dentro do comando MACH9-MP têm-se as seguintes funções:

Espelhamento

Por espelhamento entende-se como sendo a inversão do sinal da coordenada programada. São utilizadas as features G30 e G31. Se você programa a feature G31 para o eixo X e executa um movimento X positivo, no espelhamento, o resultado obtido será um movimento em X negativo. A feature G30 cancela o espelhamento.

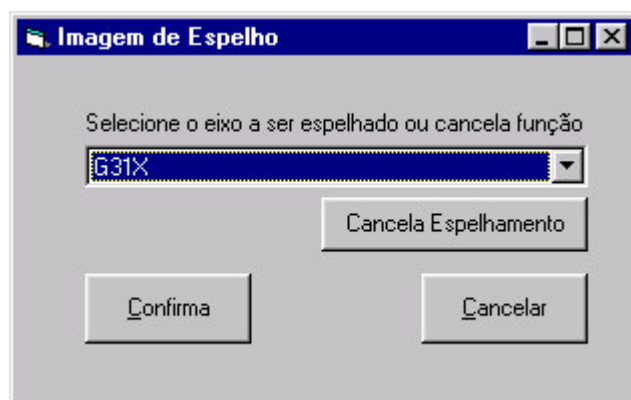


FIGURA 4.19 - Feature de espelhamento de eixo

Escala

Esta feature através do fator de multiplicação que poderá ser de 0.05 a 20, reduz ou aumenta os movimentos programados. Os valores dos corretores de ferramenta, movimentos manuais e corretores de fixação não são afetados pelo valor de escala.

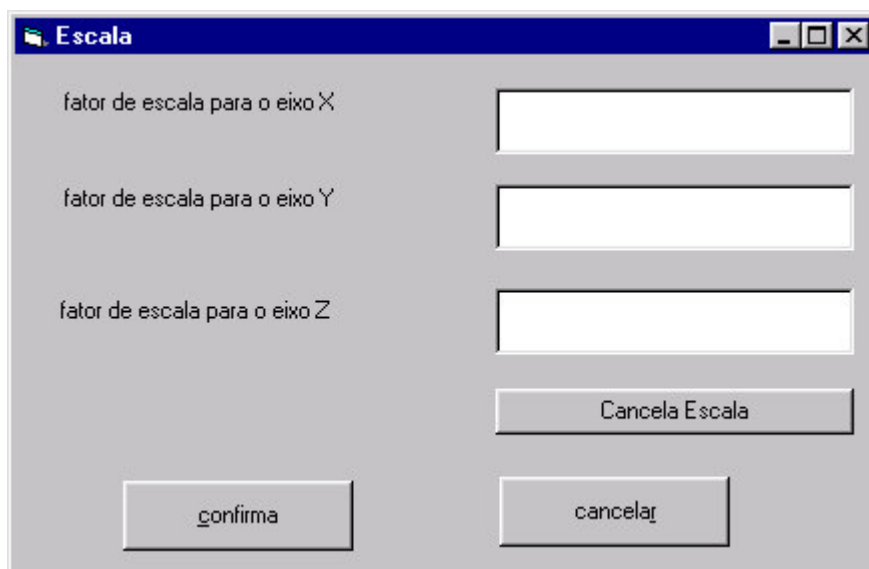


FIGURA 4.20 – Feature Escala

Auto rotina para fresamento de alojamentos retangulares, quadrados ou circulares

Esta feature permite automaticamente desbastar e dar acabamento em alojamentos. Para alojamento retangular é possível especificar um raio nos cantos usando a função R que deve ser maior que o raio da ferramenta utilizada para usinagem do alojamento. O último movimento da auto rotina é um movimento de saída tangencial. A 90 graus ao final da usinagem a ferramenta retorna em rápido para a coordenada Z da posição inicial e em seguida para a posição inicial em XY.

Alojamentos	
Coordenada X do canto oposto do alojamento	Número de passes para o eixo Z
Coordenada Y do canto oposto do alojamento	largura de corte ao longo dos eixos XY
Profundidade final do alojamento	Avanço de desbaste
Sobremetal para acabamento ao longo do eixo X	Avanço de acabamento
Sobremetal para acabamento ao longo do eixo Y	Avanço de penetração para o eixo Z
Sobremetal no fundo do alojamento	Raio
Profundidade de corte para o eixo Z	
<div>confirma</div> <div>cancelar</div>	

FIGURA 4.21 - Feature para fresamento de alojamentos retangulares, quadrados ou circulares.

Corretor de fixação

Esta feature possibilita selecionar um corretor de fixação que se encontra na página [CORRETORES FIX] do controle. Corretores de fixação são compensações do

zero máquina ao zero programa ou do zero programa até uma nova posição desejada, nos eixos X, Y e Z. Portanto eles podem ser usados para alterar o zero programa por uma quantia pré-determinada. Para acionar um corretor de fixação, programa-se a feature G45 seguida pela função O e o número do endereço do corretor na página [CORRETORES FIX]. Por exemplo: se for programado: G45O01#, será selecionado o corretor de posição que está no endereço 1 da página [CORRETORES FIX].

	X	Y	Z
1	150	0	1
2	300	0	2
3	0	0	0
4	150	0	0
5	300	250	0
6	0	100	0
7	0	0	0
8	50	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0

FIGURA 4.22 – Corretor de fixação:

Tempo de permanência

Uma feature G04 programa um tempo de permanência. O tempo de permanência, vem em segundos, é definido pela função F, sendo este modal. Enquanto

a feature G04 é executada, o tempo de permanência fica em contagem regressiva de seu valor inicial até zero. A feature G04 não troca o status ou função do controle servindo apenas para inserir uma pausa por um tempo determinado. Depois que o tempo de permanência foi completado, o controle continua a execução com o próximo bloco.

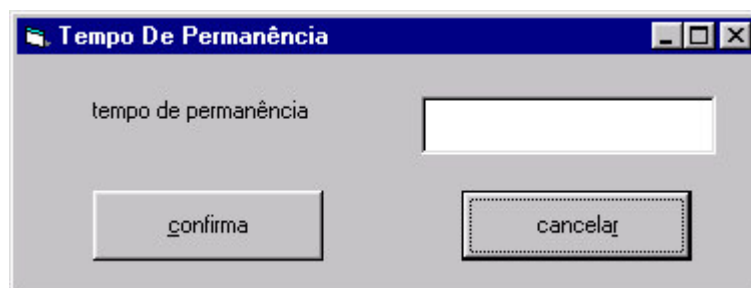


FIGURA 4.23 - Tempo de permanência:

Rotação do sistema de coordenadas

Um bloco G74 permite rotacionar um sistema de coordenadas no plano XY de subseqüentes movimentos programados. A rotação se dá em um centro e ângulo especificados junto com a feature. Esta feature é utilizada para rotacionar um sistema de coordenadas e pode ser útil para reproduzir partes ou peças que tem simetria radial.

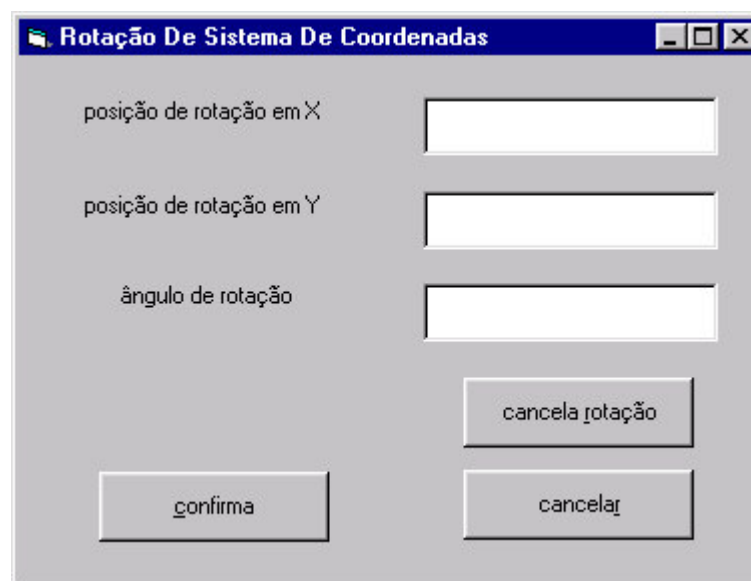


FIGURA 4.24 – Rotação do sistema de coordenadas

4.2.4 - FUNÇÕES MISCELÂNEAS

Funções miscelâneas são utilizadas para definir as ações tomadas pelas aplicações lógicas programáveis (PAL). PAL é um programa que o controle executa que controla algumas funções como troca de ferramenta, liga ou desliga refrigerante, eixo árvore, etc.

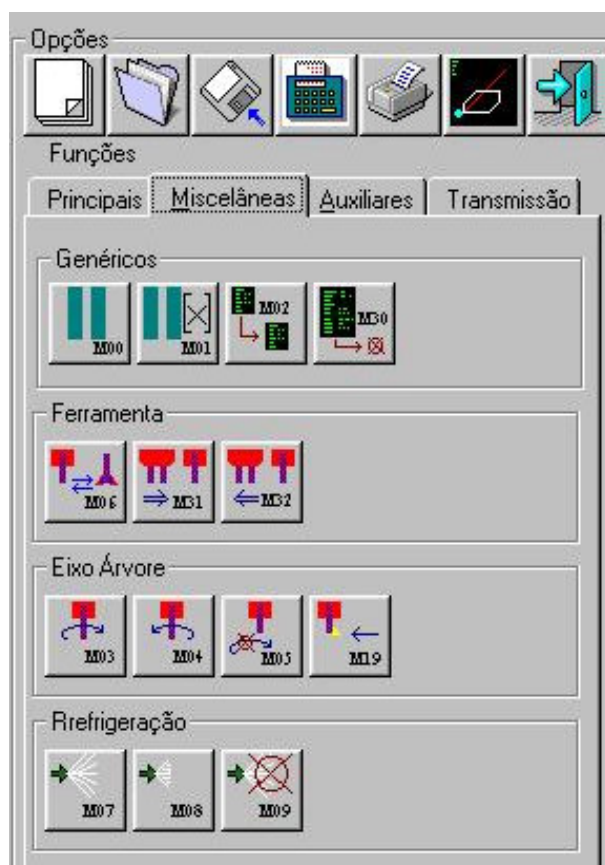


FIGURA 4.25 – Tela de programação das funções miscelâneas

Parada de programa

A função M00 causa a parada de execução do programa. Quando um bloco do programa contendo a instrução M00 é encontrado, a execução do programa é interrompida e a mensagem “PARADO” e “AGUARDANDO INÍCIO” será mostrada na tela do computador e da máquina. Para reiniciar a execução do programa, temos que teclar “ENTER” no teclado do computador ou [CYCLE START] no comando da máquina.

Parada de programa opcional:

A função M01 produz o mesmo efeito que a função M00 mas, a função M01 exige que se programe a função [PARADA OPC] na página de referência de trabalho da máquina. Se não programarmos [PARADA OPC], a função M01 será ignorada pela máquina.

Fim de subprograma

A função M02 é utilizada para finalizar um subprograma ou de um programa, devendo ser programa sozinha no último bloco de dados. Comumente utiliza-se a função M02 para indicar o final de um subprograma.

Fim de programa

A instrução M30 tem a mesma função de M02, somente que é mais comumente utilizada para indicar um final de programa.

Troca de ferramenta

A função M06 provoca uma parada na execução do programa para possibilitar a troca de uma ferramenta de usinagem. A seguir à parada do programa é executado um movimento dos eixos para uma posição que seja conveniente para se efetuar a troca. Após a troca de ferramenta o próximo bloco do programa deverá retornar os eixos na posição de início de usinagem da peça e ligar o eixo árvore.

Avança TAF

A função M31 avança o magazine de ferramentas para a posição de troca.

Recua TAF

A função M32 recua o magazine de ferramentas para a posição de trabalho.

Rotação do eixo árvore à direita

A função M03 liga o eixo árvore com rotação no sentido anti-horário

Rotação do eixo árvore à esquerda:

A função M04 liga o eixo árvore com rotação no sentido horário

Parada do eixo árvore:

A função M05 executa a parada de giro do eixo árvore.

Parada do eixo árvore com orientação:

A função M19 executa a parada do eixo árvore em uma posição específica.

Refrigeração alta pressão com ferramenta (opcional)

A função M07 liga a refrigeração sob alta pressão da ferramenta de trabalho. É uma função opcional e é fornecida a pedido do cliente.

Refrigeração normal

A função M08 liga a refrigeração sob pressão normal da ferramenta de trabalho.

Desliga refrigeração

A função M09 desliga a refrigeração da ferramenta de trabalho.

4.2.5 - FUNÇÕES AUXILIARES

São aquelas que complementam as informações contidas em um bloco de modo que o bloco e o programa fiquem perfeitamente definidos em todos os seus parâmetros (Machado90). Pode-se especificar os seguintes parâmetros:

Ramificações de programa e corretor de ferramentas

Dentro de um programa de usinagem é possível especificar desvios. Estes desvios podem ser utilizados para alterar e controlar a seqüência de execução de programas. Um desvio transfere a execução de determinada etapa do programa para

uma outra (por exemplo, uma sub rotina) ou transfere a execução para outro programa (por exemplo, um sub programa). Quando o programa termina a etapa especificada pelo desvio, ele retorna ao bloco de dados que instruiu o desvio. Estes desvios são programados através das letras H e E na tela de funções auxiliares. Nesta tela, é programada também, a função N que indica a numeração de um dado bloco de dados, a função L indicadora de repetição, bem como a função T que indica a posição da ferramenta no magazine de ferramentas da máquina e o seu respectivo corretor. Estas funções são vistas na Figura 4.26.

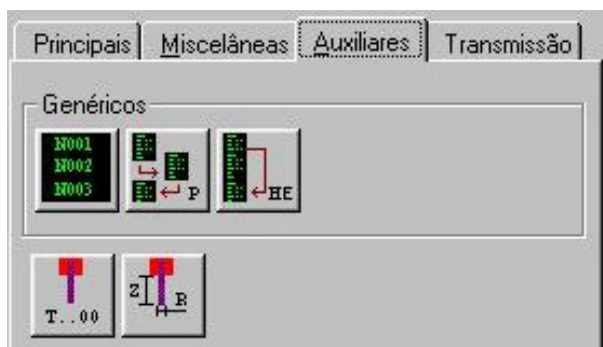


FIGURA 4.26 – Tela de programação das funções auxiliares.

Os ícones que compõem esta tela possuem as seguintes funções:

Número de seqüência

A função N indica o número de seqüência quando o programa não está sendo numerado automaticamente. Esta função é opcional sendo utilizada somente para sub rotinas para identificar um determinada bloco de dados. São utilizados para facilitar a análise do programa especialmente quando se utiliza funções de desvio H e E. Os números poderão ser colocados em qualquer ordem porém recomenda-se sempre usá-los em ordem crescente para facilitar o entendimento do programa.

Repetição de bloco

A função L em um bloco de dados faz com que o bloco seja executado L vezes. A função L pode ter valor de 0 a 255 e dentro do software será sempre utilizada para repetir uma sub rotina ou um sub programa.

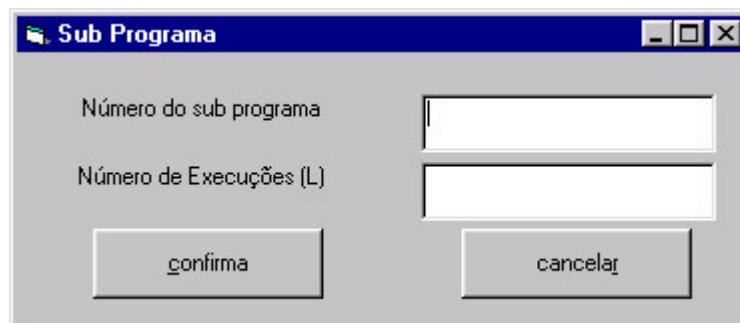


FIGURA 4.27– Repetição de bloco:

Desvio para sub rotina

A função H instruí o controle a desviar para o bloco que tem o número de seqüência (função N) igual ao da função H. Na maioria dos casos o desvio é para o primeiro bloco de uma sub rotina. O controle executa os blocos começando pelo número do bloco especificado juntamente com a função H e continua até encontrar o último bloco da sub rotina especificada pela função E.

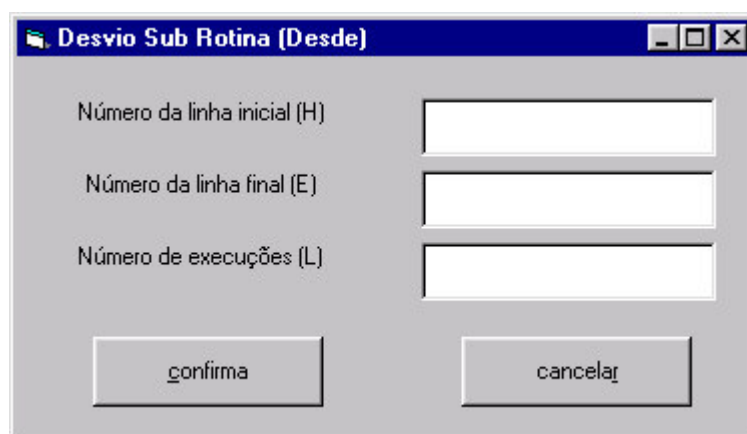


FIGURA 4.28 – Desvio para sub rotina:

Nova Ferramenta

Esta função T (formato T2) permite configurar a posição da ferramenta de trabalho dentro TAF relacionando-a ao seu respectivo corretor através da função O. É programada também, a rotação com a qual a ferramenta irá trabalhar e o sentido de rotação, se à direita ou à esquerda. Os dois dígitos numéricos junto à letra T identificam a posição da ferramenta no magazine. O limite superior da função T é determinado pela capacidade do magazine ou do sistema de seleção.

FIGURA 4.29 – Programação de dados de ferramenta

Corretor de ferramentas

Nesta caixa de diálogo informam-se os valores de comprimento e diâmetro da ferramenta de trabalho. O valor do comprimento é usado para compensar o movimento do eixo Z com relação ao zero peça. O valor do diâmetro é imediatamente dividido para fornecer o valor do raio que é usado na compensação do raio da ferramenta.

	Diâmetro	Altura [Z]		Diâmetro	Altura [Z]
1	10	10	12	120	120
2	20	20	13	130	130
3	5	30	14	140	140
4	7	40	15	150	150
5	50	50	16	160	160
6	60	60	17	170	170
7	770	70	18	180	180
8	80	80	19	190	190
9	90	90	20	200	200
10	100	100	21	210	210
11	110	110	22	220	220

confirma cancelar

FIGURA 4.30 – Corretor de ferramentas

4.2.6 - UTILIZAÇÃO DO MÓDULO DE SIMULAÇÃO

Após o término do processo de programação, o operador poderá simular a trajetória da ferramenta através de uma sequência combinada de retas, arcos e círculos que irão montar o perfil da peça usinada. A finalidade desta simulação é a visualização gráfica de possíveis erros de programação. Caso o programador detecte algum erro, ele poderá voltar ao módulo de edição e alterar o programa através das janelas de diálogo.

Nesta área pode-se visualizar a trajetória da ferramenta através das vistas pelos planos XY, ZX, ou ZY, para que se tenha um bom entendimento de como o trabalho irá se realizar em três dimensões. Poderemos, também, controlar o tempo de execução da

as preferências de conexão e o controle de fluxo. O equipamento que receber estes pacotes de bits faz o inverso e monta novamente os caracteres e conseqüentemente o arquivo CN.

Neste trabalho, o envio e a recepção de dados entre o comando numérico e o computador foram realizados a distâncias menores do que 10 metros e com uma taxa de transmissão de 9600 Baud, utilizando comunicação RS232C. O programa a ser transmitido deverá estar na tela de edição; pressionando-se o ícone “enviar programa”, visto na figura 4.31, será feita automaticamente a conexão entre o PC e a máquina CNC. A transmissão poderá ser interrompida a qualquer momento através do ícone “desconectar”.

Para o recebimento de programas ou sub programas se procederá de maneira inversa. A tela de edição deverá estar limpa; para isso, as opções para recebimento de programa ou de um subprograma estão contidas na tela inicial de programação através do uso do botão “programa para recepção”. Com isto garante-se que a tela estará limpa para a recepção. Após clicarmos no botão “programa para recepção” aparecerá a tela de transmissão e recepção de programas onde se clica no ícone “receber programa” para efetuar a recepção já com o nome que consta no cabeçalho do programa e já dentro de suas respectivas pastas: a de programas para programas principais e a de subprogramas para salvar os subprogramas. Em seguida programa-se a máquina CNC para enviar programa e inicia-se a transmissão da máquina para o computador.

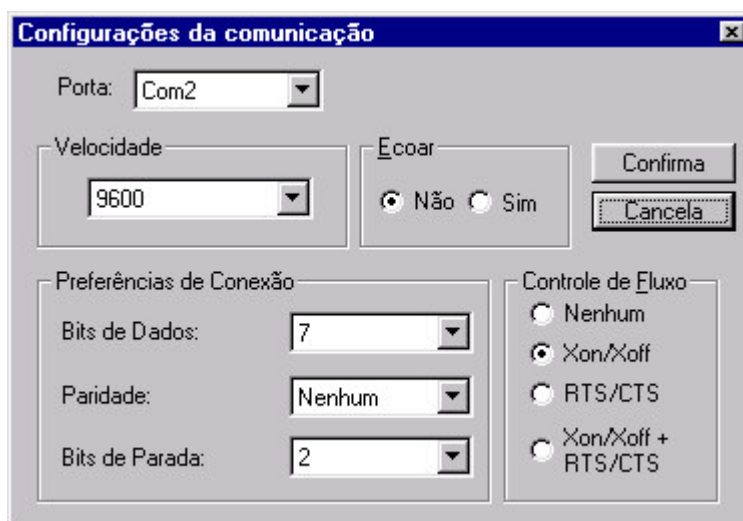


FIGURA 4.32 – Tela de comunicação Comando Numérico - Microcomputador

4.3 – AVALIAÇÃO PRÁTICA DO PROTÓTIPO

Apresentar-se-á a seguir a elaboração de um programa de usinagem de uma peça com o auxílio do protótipo. O programa foi elaborado e transmitido ao centro de usinagem do laboratório de usinagem do Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR.

O ponto de partida para a elaboração do programa de usinagem é o desenho da peça que deverá conter todas as informações necessárias para que o programador possa transformar estas informações em linguagem de máquina.

O desenho da peça em questão é visto na figura 4.33. A partir das informações contidas neste desenho preenche-se as janelas de diálogo do módulo de edição, em seguida visualiza-se a trajetória da ferramenta no módulo de simulação e, por último, far-se-á a transmissão do programa para a memória da máquina.

Para isto, utilizam-se as seguintes features:

- 1- Interpolação linear com posicionamento em rápido;
- 2- Interpolação linear com posicionamento com avanço de trabalho;
- 3- Furação simples;
- 4- Alojamentos.

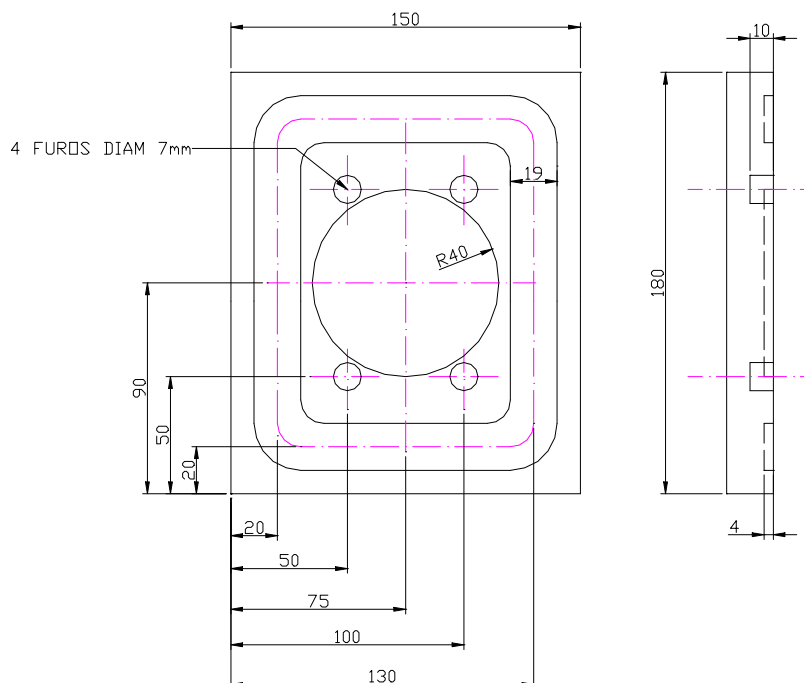


FIGURA 4.33 – Peça para exemplo de utilização do editor protótipo para programas CNC

Etapas de usinagem:

Foram definidas as seguintes etapas para a usinagem do teste prático:

- 1 – Faceamento da superfície com fresa de facear diâmetro 63mm;
- 2 – Usinagem do canal com largura de 19mm com fresa de topo diâmetro 19mm;
- 3 – Fresamento do alojamento circular de raio 40mm com fresa de topo diâmetro 14mm;
- 4 – Furação com broca helicoidal diâmetro 7mm.

1 – Edição do programa

a) Preencher o cabeçalho do programa

Abrir a caixa de diálogo “novo programa” e preencher os campos com as informações necessárias. O nome do programa será “Teste Prático”, trabalha-se em coordenadas absolutas, unidade de medida em milímetros e a ferramenta trabalhará no plano XY

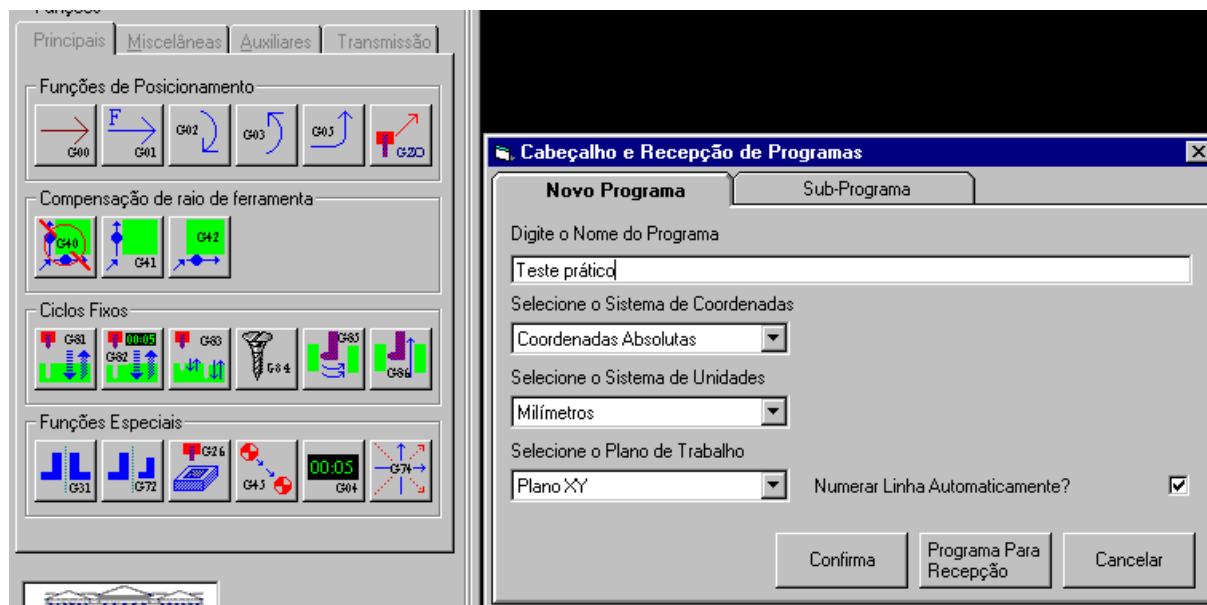


FIGURA 4.34 – Preenchendo o cabeçalho do programa

b) Corretor de ferramentas

Informar o diâmetro das ferramentas utilizadas dentro do menu de funções auxiliares na caixa de diálogo de correção de ferramentas:

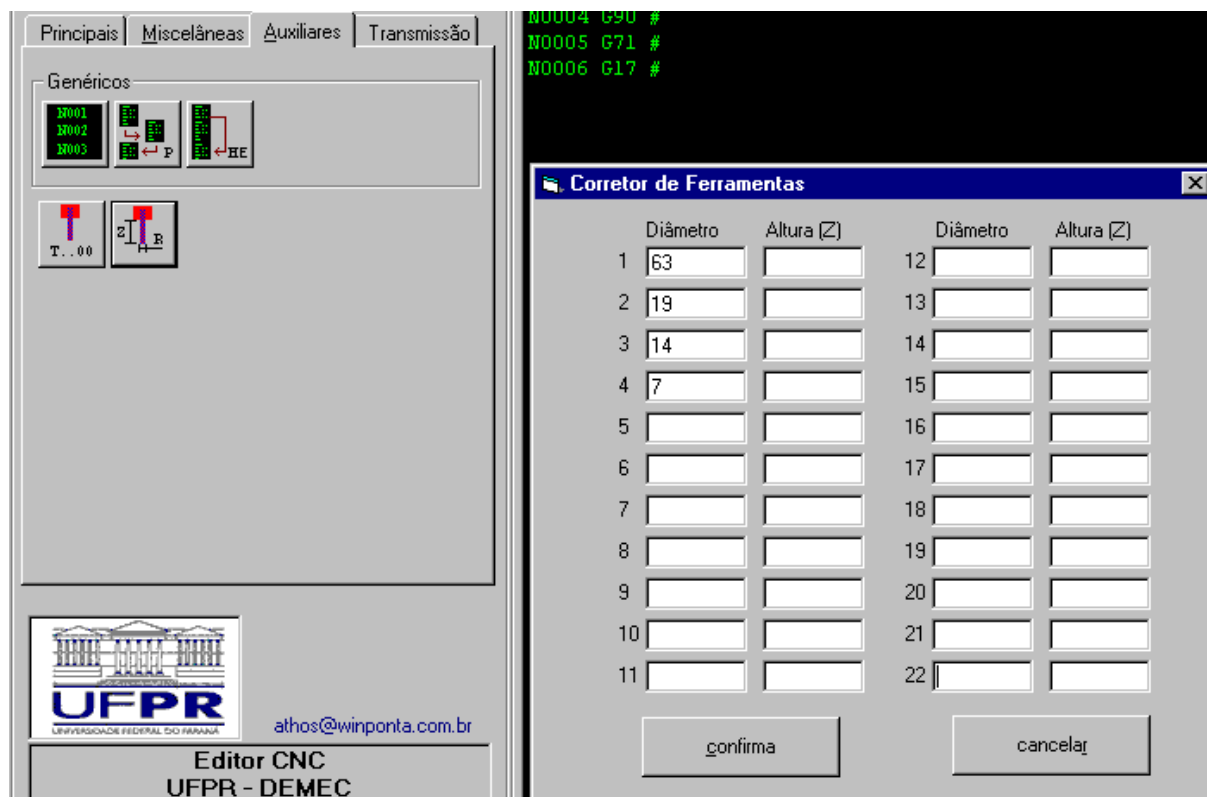


FIGURA 4.35 – Informando ao sistema os corretores de ferramenta

c) Parâmetros de usinagem

Nesta etapa informa-se, ainda dentro do menu de funções auxiliares, qual a posição que a ferramenta que irá executar a usinagem ocupa no magazine, qual a rotação e o sentido de giro utilizados:

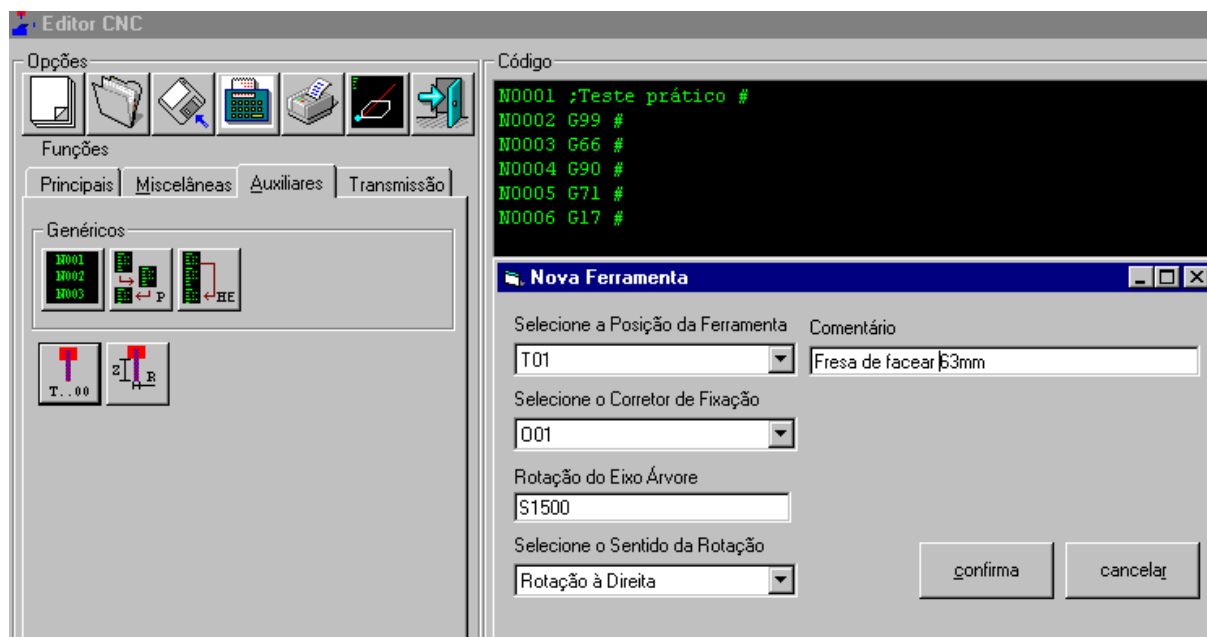


FIGURA 4.36 – Informações sobre as condições de usinagem

Com estas informações e o desenho da peça, o protótipo transforma os dados em linguagem de máquina. O programa gerado é o seguinte:

```

N0001 ;Teste prático #
N0002 G99 #
N0003 G66 #
N0004 G90 #
N0005 G71 #
N0006 G17 #
N0007 T01 M06;Fresa de facear 63mm #
N0008 O01 S1500 M03 #
N0009 M08 #

```

N0010 G00 X-73. Y20. Z10. #
N0011 G01 X-73. Y20. Z-2. F1000 #
N0012 G01 X200. Y20. Z-2. F1000 #
N0013 G01 X200. Y80. Z-2. F1000 #
N0014 G01 X-73. Y80. Z-2. F1000 #
N0015 G01 X-73. Y130. Z-2. F1000 #
N0016 G01 X220. Y130. Z-2. F1000 #
N0017 G01 X220. Y180. Z-2. F1000 #
N0018 G01 X-73. Y180. Z-2. F1000 #
N0019 G01 X-73. Y180. Z10. F1000 #
N0020 M09 #
N0021 M05 #
N0022 GZO #
N0023 T02 M06;fresa de topo 19mm #
N0024 O02 S1500 M03 #
N0025 M08 #
N0026 G00 X40. Y20. Z10. #
N0027 G01 X40. Y20. Z-4. F1000 #
N0028 G01 X110. Y20. Z-4. F1000 #
N0029 G03 X130. Y40. Z-4. I110. J40. F1000 #
N0030 G01 X130. Y140. Z-4. F1000 #
N0031 G03 X110. Y160. Z-4. I110. J140. F1000 #
N0032 G01 X40. Y160. Z-4. F1000 #
N0033 G03 X20. Y140. Z-4. I40. J140. F1000 #
N0034 G01 X20. Y40. Z-4. F1000 #
N0035 G03 X40. Y20. Z-4. I40. J40. F1000 #
N0036 G01 X50. Y20. Z-4. F1000 #
N0037 G01 X50. Y20. Z10. F1000 #
N0038 M09 #
N0039 GZO #
N0040 T03 M06;fresa de topo 14mm #

N0041 O03 S1500 M03 #
N0042 M08 #
N0043 G00 X75. Y90. Z10. #
N0044 G01 X75. Y90. Z0.5 F1000 #
N0045 G26 Z-4. W10. F1000 U-1.5 I0.5 J0.5 K0.5 H100 V80 R40. #
N0046 M05 #
N0047 GZO #
N0048 T04 M06;broca helicoidal 7mm #
N0049 O04 S500 M03 #
N0050 G00 X50. Y50. Z10. #
N0051 G83 R2. Z-10. I5. F50 K5. #
N0052 X50. Y50. #
N0053 X100. Y50. #
N0054 X100. Y130. #
N0055 X50. Y130. #
N0056 G80 #
N0057 M09 #
N0058 M05 #
N0059 GZO #
N0060 M30 #

2 – Simulação

Ao término da tarefa de edição pode-se visualizar a trajetória das ferramentas utilizadas através do módulo de simulação.

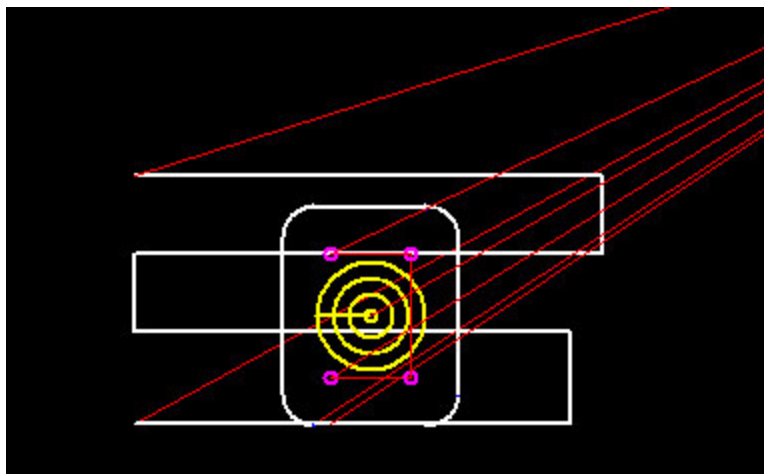


FIGURA 4.37 – Tela do simulador

3 – Transmissão

Depois do programa editado e simulado e assegurar-se que o programa está pronto para ser executado, envia-se o programa para a memória da máquina via RS232 através das portas e cabo de comunicação. Para isto utiliza-se o módulo de transmissão, ajustando as configurações de comunicação e enviando o programa do microcomputador para a memória da máquina. Na figura 4.38 é visto o resultado final de todas as operações expostas acima.



FIGURA 4.38 – Resultado do teste prático após a usinagem

4.4 – AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO EM CHÃO DE FÁBRICA

Seleção das empresas

Para validar a ferramenta e assegurar a sua usabilidade em chão de fábrica, elaborou-se uma etapa prática de testes e análises visando avaliar o processo de confecção de programas de usinagem livres de erros e a capacidade de enviar e de receber programas do microcomputador para a memória da máquina e vice-versa

Para isto, procedeu-se a uma seleção de um grupo de empresas para participarem desta etapa de avaliação, seguindo-se os seguintes critérios:

- 1 – Deveriam possuir em seu parque fabril centro de usinagem Discovery4022 com comando MACH9;
- 2 – As empresas deveriam disponibilizar técnicos para participar de treinamento em programação CNC e;
- 3 – Deveriam possibilitar a utilização de seus centros de usinagem para testes práticos.

Para selecionar estas empresas utilizou-se banco de dados que foi construído pelo departamento de engenharia mecânica da UFPR (banco usados), em pesquisa realizada no ano de 2001 com diversas empresas que atuam na área de usinagem no estado do Paraná. Através deste banco de dados, foram selecionadas todas as empresas que possuem centro de usinagem Discovery4022 em seu parque fabril e que se situavam na região metropolitana de Curitiba.

Após esta seleção, foi enviado, via fax, convite para que estas empresas indicassem dois técnicos para participar de treinamento em programação CNC a se realizar no laboratório de usinagem da UFPR. Das empresas convidadas, seis delas responderam ao convite, indicando as pessoas que iriam participar.

Treinamento em programação CNC utilizando o protótipo

O treinamento foi desenvolvido para seis empresas que responderam ao convite descrito acima e foi realizado no período de 19 a 22 de novembro de 2002 com carga horária de 20 horas visando avaliar a utilização da ferramenta como material de apoio didático. Participaram deste treinamento cinco empresas além de um aluno do curso de graduação em engenharia mecânica da UFPR e um aluno mestrando, também da UFPR. As empresas participantes são de médio e pequeno porte sendo que algumas já possuem sistemas CAD/CAM e DNC para programação de suas máquinas, outras somente DNC para a transmissão de programas, sendo a programação feita por terceiros e outras que têm somente a máquina, sendo a programação feita de modo totalmente manual e o programa sendo digitado direto no teclado da máquina.

O treinamento foi realizado tendo-se utilizado o protótipo como material de apoio ao processo de aprendizagem. Ao final do treinamento foi aplicado questionário onde se

procurou avaliar o conhecimento do aluno em programação CN, na utilização de microcomputadores e se já possuía conhecimento prévio de outros softwares para a simulação de programas de usinagem.

Avaliação do protótipo dentro das empresas

Das seis empresas que participaram do treinamento, apenas três disponibilizaram suas máquinas para testes práticos. Neste trabalho não se cita o nome das empresas em que os testes foram realizados mas serão designadas por letras: empresa A, empresa B e empresa C. Os desenhos das peças utilizadas para o teste foram modificados por se tratarem de peças que podem ser copiadas e serem de propriedade exclusiva destas empresas.

Para o teste prático foram definidas as seguintes etapas:

- 1 – Selecionar peça da linha de produção;
- 2 – Confeccionar o programa manualmente;
- 3 – Digitar o programa utilizando-se a interface da máquina;
- 4 – Coletar tempos;
- 5 – Confeccionar o programa com auxílio do protótipo;
- 6 – Enviar programa via RS232;
- 7 – Coletar tempos;
- 8 – Comparar tempos processo manual e com auxílio do protótipo.

Teste realizado na empresa A

A empresa A é uma empresa de usinagem dedicada à produção de peças automotivas conhecidas como de segunda linha para equipamentos Caterpillar, Komatsu, Cummins, Volvo e Liebherr. O parque de usinagem conta com os seguintes equipamentos:

- 3 centros de usinagem CNC;
- 3 mandriladoras CNC;
- 9 tornos CNC;
- 3 fresadoras convencionais;
- 1 brunidora;

- 1 mandriladora convencional;
- 8 retíficas.

Foi utilizado para a realização do teste o centro de usinagem Discovery 4022 equipado com comando MACH9. A empresa possui sistema integrado de projetos via CAD/CAM e DNC para transferência de programas para as máquinas, mas faz uso, também, de programação manual.

Primeiramente foi escolhido um desenho de uma peça que iria entrar em produção e foi executado o programa de usinagem tanto com o auxílio do software quanto manualmente e comparado os resultados entre uma forma de programação e outra. A colocação do programa dentro da memória da máquina foi realizada de duas maneiras: manualmente digitando-se o programa direto no teclado da máquina e via RS232. A peça escolhida foi a peça “GARFO” utilizada na caixa de transmissão de movimentos em máquinas de terraplanagem. A peça é representada na figura 4.39.

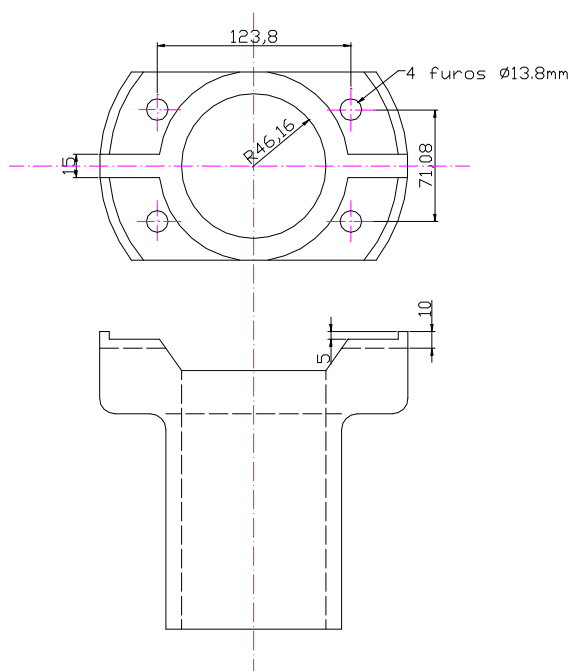


FIGURA 4.39 – Garfo

Foram utilizados os seguintes avanços e rotações de trabalho:

- 1 - Para desbaste: 4800rpm e 700mpm

2 - Para acabamento: 4800rpm e 700mpm

3 - Para as furações: 1200rpm e 100mpm

Teste realizado na empresa B:

A empresa B é uma empresa de pequeno porte que também se dedica à usinagem de produtos automotivos. Produz um sistema completo de freios para carretas e caminhões recebendo o produto fundido e realizando todas as etapas de usinagem e de montagem das peças. Realiza também serviços de usinagem para terceiros. Conta atualmente em seu parque fabril com as seguintes máquinas:

- 6 tornos CNC;
- 1 centro de usinagem CNC;
- 4 fresadoras convencionais;
- 2 roscadeiras automáticas;
- 2 retíficas;

Nesta empresa, a programação é feita de modo totalmente manual já que a empresa não possui sistema CAD/CAM e tampouco uma ferramenta para a transferência de programas para a máquina. Devido a isto, a memória da máquina estava completamente cheia obrigando o programador - quando da necessidade de elaborar um novo programa – a copiar em papel um programa da memória da máquina, apagá-lo e, a partir daí, inserir um novo programa.

Para a realização dos testes foi necessário instalar o protótipo em microcomputador disponível no almoxarifado da empresa, confeccionar o cabo de comunicação e configurar os parâmetros de comunicação. Ao final dos testes deixou-se na empresa um sistema de comunicação totalmente operacional o que veio a facilitar o processo de retirar os programas da memória da máquina e gravá-los no disco rígido do microcomputador devidamente organizados em pastas.

A peça escolhida para o teste foi a peça denominada “Carcaça 3069” cujo desenho esquemático é visto na figura 4.40.

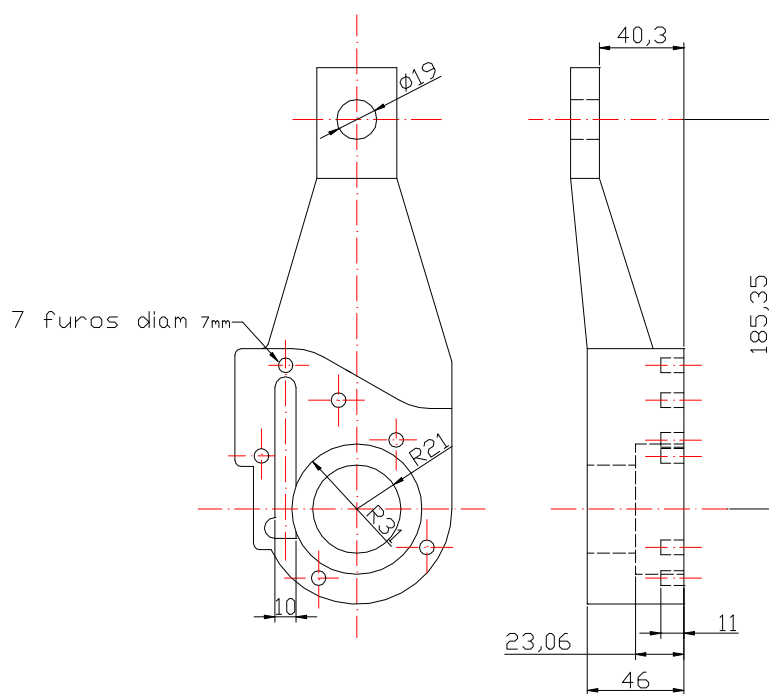


FIGURA 4.40 – Carcaça 3069

As etapas de usinagem foram as seguintes:

- 1 – Fresamento do canal com largura de 10mm e profundidade 3mm;
- 2 – Execução dos furos com diâmetro de 7mm;
- 3 – Execução do furo com diâmetro de 19mm.

As ferramentas utilizadas foram:

- 1 – Para o canal: fresa de topo diâmetro 10mm;
- 2 – Para os furos diâmetro 7mm: Broca de centro e broca helicoidal 7mm;

3 – Para o furo diâmetro 19mm: Broca de centro, broca helicoidal diâmetro 19mm e alargador 19H7.

O programa de usinagem, da mesma maneira do que na empresa A, também foi realizado de forma manual e com o auxílio do protótipo.

Teste realizado na empresa C

A empresa C é uma empresa de pequeno porte que se dedica exclusivamente à usinagem para terceiros. Seu parque fabril conta apenas com um centro de usinagem CNC e máquinas convencionais: fresadoras, tornos, retíficas e furadeiras. A empresa não possui sistema CAD/CAM, sendo os programas feitos em papel e em seguida digitados na máquina. O programador possui grande experiência tanto em programação, quanto na utilização de microcomputadores.

A peça escolhida para o teste foi a peça denominada “Tampa” cujo desenho esquemático é visto na figura 4.41.

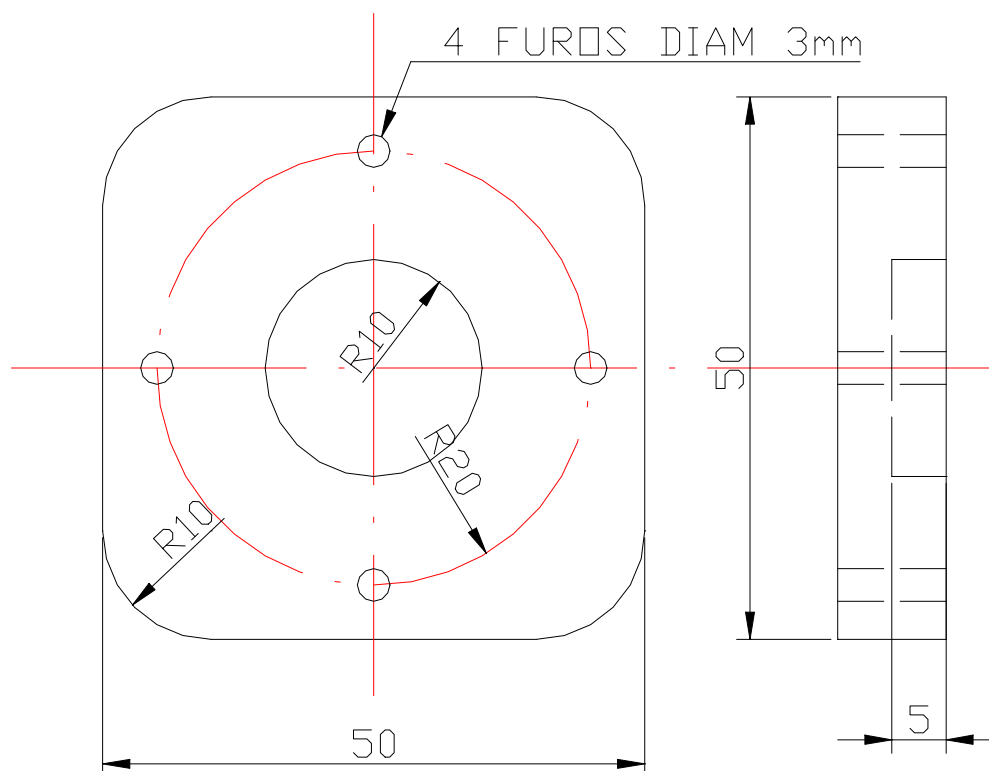


FIGURA 4.41 – Tampa

As etapas de usinagem foram as seguintes:

- 1 – Faceamento da superfície;
- 2 – Execução dos furos com diâmetro de 3mm;
- 3 – Execução da usinagem do contorno da peça;
- 4 – Usinagem da cavidade.

As ferramentas utilizadas foram:

- 1 – Para a superfície: fresa de facear diâmetro 63mm;
- 2 – Para os furos diâmetro 3mm: Broca de centro e broca helicoidal 3mm;
- 3 – Para o contorno e a cavidade: fresa de topo diâmetro 8mm.

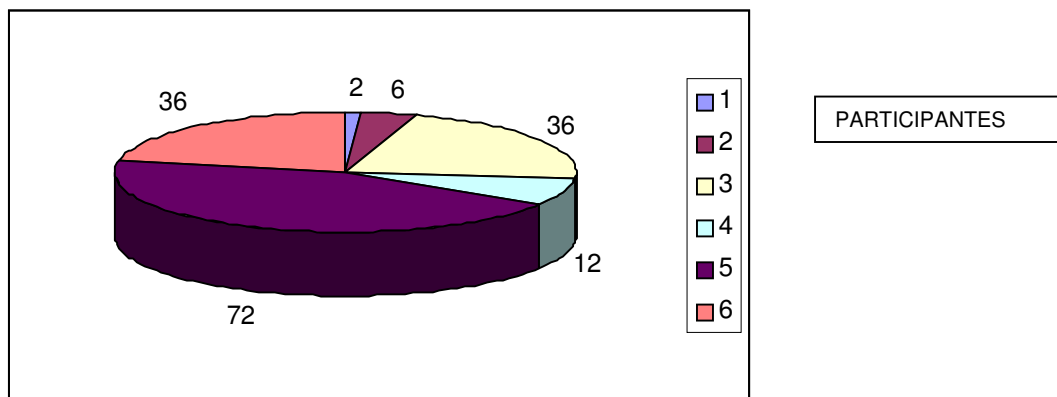
CAPÍTULO 5

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DO PROTÓTIPO

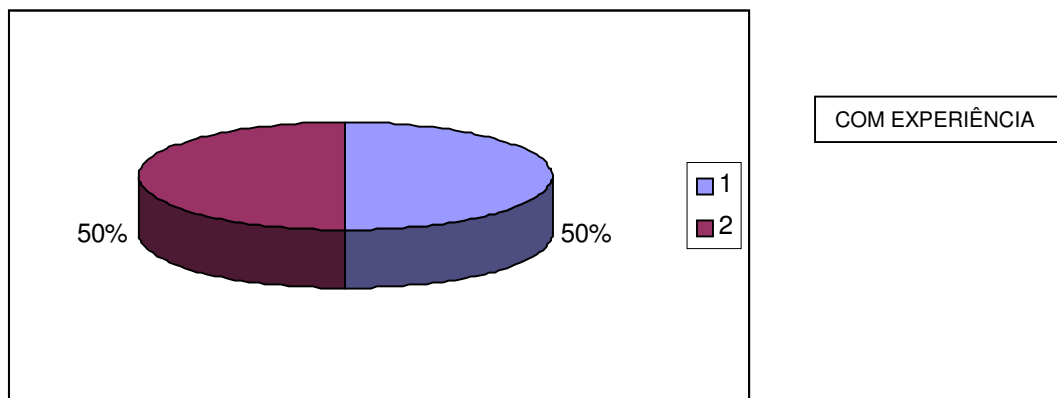
5.1 – RESULTADOS OBTIDOS NO TREINAMENTO

Com o questionário aplicado ao final do treinamento, onde se procurou avaliar o conhecimento do aluno em programação CN, na utilização de microcomputadores e se já possuía conhecimento prévio de outros softwares para a simulação de programas de usinagem, foram obtidos os seguintes resultados, sendo que seis participantes

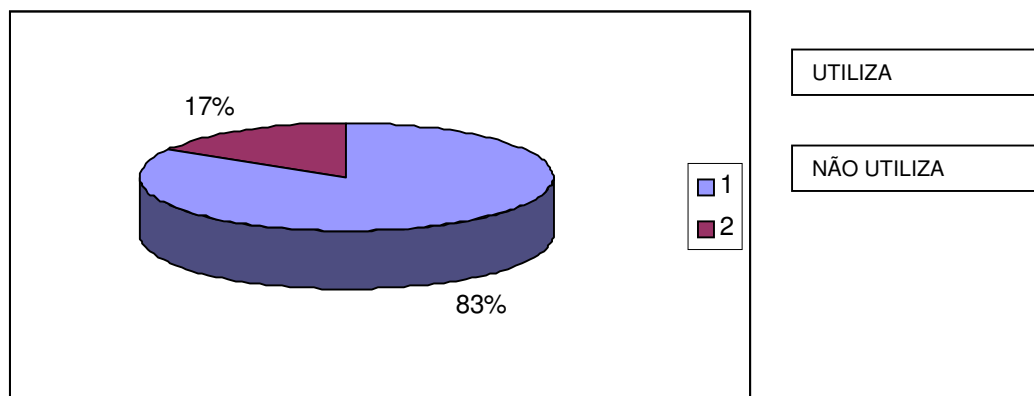
1 – Experiência na elaboração de programação CN em meses:



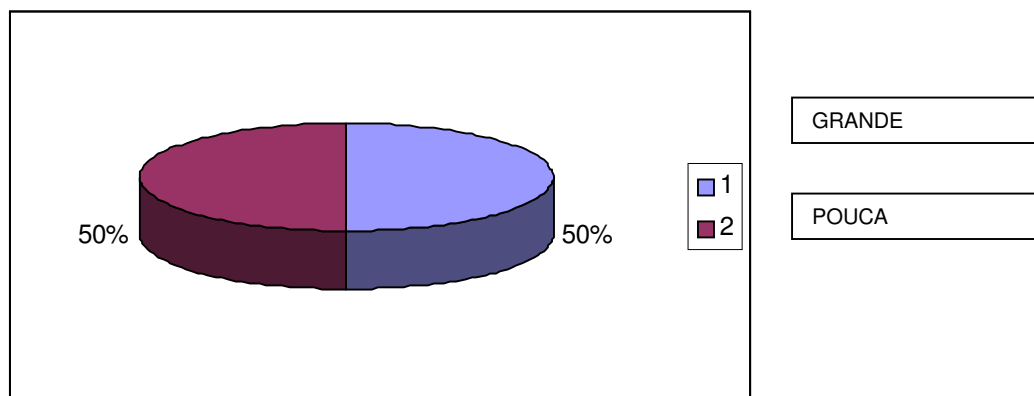
2 – Experiência na utilização de micro computadores:



3 – Utilização de outros softwares para simulação de programas CNC:



4 – Grau de dificuldade na utilização do protótipo:



Os números revelam a heterogeneidade dos participantes. Havia pessoas já com grande experiência em programação e, também, iniciantes. Outro dado é que há técnicos em programação e operação de máquinas dotadas de comando numérico que ainda não estão familiarizados com a utilização de micro computadores. Vimos que somente 50% dos participantes declararam ter alguma experiência no uso de microcomputadores e conhecimento de outras ferramentas de edição e simulação de programas CN o que não impediu que a maioria - 83% - declarasse que teve pouca dificuldade com a utilização do software para a elaboração de programas.

5.3 RESULTADOS OBTIDOS NOS TESTES NAS EMPRESAS

Teste realizado na empresa A

A seguir, é apresentado o resultado das análises dos tempos de programação manual e com auxílio do protótipo realizado na empresa A:

Para escrever o programa manualmente despendem-se os seguintes tempos:

Operação	Tempos
Escrever o programa	25 min
Digitar o programa na tela da máquina	12min
Simular o programa na tela do simulador	2 min
Retirar os erros do programa	10 min
Simular usinagem na máquina com avanço rápido	3 min
Tempo total para montagem e testes com o programa	52 min
Tempo de máquina parada	27 min

TABELA 5.1 – Tempos das operações para uma programação manual - empresa A

Já para o programa feito com auxílio do protótipo obtêm-se os seguintes tempos:

Operação	Tempos
Montar o programa, simular e retirar erros	36 min
Transmitir o programa via RS232	2 min
Simular o programa na tela do simulador da máquina	2 min
Simular usinagem na máquina com avanço rápido	3 min
Tempo total para montagem e testes com o programa	43 min
Tempo de máquina parada	7 min

TABELA 5.2 – Tempos das operações para um programa feito com auxílio do protótipo
– empresa A

Comparando as duas formas de programação apresentadas acima, observa-se que, apesar de ser utilizado maior tempo com a elaboração do programa utilizando o simulador, nas etapas seguintes de transmissão e depuração erros, o protótipo apresenta significativa vantagem em relação ao programa escrito manualmente. Durante os testes foi constatado também que o tempo de montagem do programa de usinagem utilizando o protótipo poderá ser reduzido drasticamente a medida que o usuário se habitua com o ambiente de programação. Também o tempo de máquina parada foi reduzido. Durante a operação manual a máquina esteve parada por 27 minutos para a inserção do programa na memória e a realização dos testes, já com o protótipo este tempo foi de apenas 7 minutos - uma redução de mais de 3,8 vezes.

Teste realizado na empresa B:

O programa de usinagem, da mesma maneira do que na empresa A, também foi realizado de forma manual e com o auxílio do protótipo.

Para escrever o programa manualmente o programador despendeu os seguintes tempos:

Operação	Tempos
Escrever o programa	50 min
Digitar o programa na tela da máquina	30 min
Simular o programa na tela do simulador	5 min
Simular usinagem na máquina com avanço rápido	8 min
Tempo total para montagem e testes com o programa	93 min
Tempo de máquina parada	43min

TABELA 5.3 – Tempos das operações para um programa escrito manualmente - empresa B

Já para o programa feito com auxílio do protótipo obtêm-se os seguintes tempos:

Operação	Tempos
Montar o programa, simular e retirar erros	75 min
Transmitir o programa via RS232	2 min
Simular o programa na tela do simulador da máquina	5 min

Simular usinagem na máquina com avanço rápido	8 min
Tempo total para montagem e testes com o programa	90 min
Tempo de máquina parada	15 min

TABELA 5.4 – Tempos das operações para um programa feito com o auxílio do protótipo – empresa B

Neste teste realizado na empresa B, verificou-se que o programador tinha pouca experiência na utilização dos recursos disponíveis na máquina utilizou somente os recursos básicos de interpolação linear, interpolação circular e alguns ciclos de furação. Para a referida peça, havia várias operações de usinagem repetitivas como as furações que deveriam ser executadas primeiramente com broca de centro e a seguir a furação final com broca helicoidal e no caso de furo com diâmetro de 19mm ainda havia a necessidade de utilizarmos um alargador. Poderiam ser utilizadas funções de desvio de programa ou subprogramas, mas tais funções eram desconhecidas do programador. O programador, também, revelou-se pouco familiarizado com a utilização do sistema operacional Windows.

Procurou-se realizar tanto a programação manual quanto a programação utilizando o protótipo da mesma maneira, ou seja, utilizando os mesmos comandos. Disto resultou tempos grandes para a confecção do programa tanto manualmente quanto com o auxílio do computador. Mais uma vez evidenciou-se a grande utilidade de um sistema de transmissão que elimina a árdua tarefa de digitar o programa no teclado da máquina, principalmente no caso de um programa como este que foi gerado com um grande número de linhas (120 linhas).

Teste realizado na empresa C

Para escrever o programa manualmente o programador despendeu os seguintes tempos:

Operação	Tempos
Escrever o programa	20 min

Digitar o programa na tela da máquina	7 min
Simular o programa na tela do simulador	15 min*
Simular usinagem na máquina com avanço rápido	2 min
Tempo total para montagem e testes com o programa	44 min
Tempo de máquina parada	24 min

TABELA 5.5 – Tempos das operações para um programa escrito manualmente - empresa C

Já para o programa feito com auxílio do protótipo obtêm-se os seguintes tempos:

Operação	Tempos
Montar o programa, simular e retirar erros	12 min
Transmitir o programa via RS232	1 min
Simular o programa na tela do simulador da máquina	2 min
Simular usinagem na máquina com avanço rápido	2 min
Tempo total para montagem e testes com o programa	16 min
Tempo de máquina parada	5 min

TABELA 5.6 – Tempos das operações para um programa feito com o auxílio do protótipo - empresa C

Novamente tem-se a confirmação da importância em se eliminar a tarefa de digitação do programa de usinagem na tela da máquina. Observa-se que este é o principal fator em perda de tempo produtivo, já que a máquina tem de permanecer parada durante todo o processo de digitação.

Durante este teste foi possível observar outro ponto importante. Durante a simulação na tela da máquina do programa digitado manualmente, o comando informava o seguinte erro quando da simulação do ciclo de cavidade (G26): “excesso do número de passes”. Devido a este erro, despendeu-se 15 minutos na tarefa de

simulação até encontrar e eliminar este erro do programa (tabela 5.5). Verificou-se que o erro estava na função “W” do ciclo G26 – largura do passe em XY – em que o comando exige que se coloque o ponto após a informação do valor da largura do passe. O programador estava colocando o valor sem o ponto e para resolver o problema teve que apanhar o manual de programação, estudar a forma de programação e retirar o erro do programa.

Com a utilização do protótipo este problema não apareceu, pois a colocação do ponto, após o valor das features que exigem isto, é feita de forma automática. O programador informa todos os valores do ciclo e o protótipo se encarrega de colocar os pontos, ou não, de acordo com as exigências do comando da máquina.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 – CONCLUSÕES

A dissertação aqui apresentada refere-se ao desenvolvimento de uma ferramenta computacional para a edição, simulação e transmissão de programas CNC para centros de usinagem em um ambiente 2 ½ eixos. No seu desenvolvimento utilizaram-se técnicas de programação que possibilitam ao usuário uma maior interação e, por conseguinte, obter o máximo desempenho partindo-se dos princípios básicos de usabilidade.

O protótipo possibilita ao programador interagir com o sistema respondendo às perguntas que são apresentadas numa forma lógica com o auxílio das caixas de diálogos. Estas caixas foram construídas utilizando-se recursos gráficos como menus, botões, campo de seleção e inclusão de dados que possibilitam a interação com o protótipo de modo intuitivo.

A ferramenta foi utilizada para gerar o código de peças para o comando MACH9MP do centro de usinagem Discovery4022 fabricado pela ROMI, em testes realizados no laboratório de usinagem da UFPR e em testes práticos no chão de fábrica. O código dos programas de usinagem gerado pelo protótipo foi transmitido para o comando da máquina e mostrou-se correto quanto a sua sintaxe, sendo possível a utilização dos ciclos disponíveis no comando para aumentar a eficiência da programação. A simulação do percurso de usinagem na tela do computador se mostrou mais clara e mais limpa do que a da tela do comando da máquina, principalmente pela adoção de diferentes cores para a distinção entre ciclos disponíveis na máquina.

O módulo de simulação apresentado neste trabalho, além do recurso da utilização de diferentes cores dito acima, permite ainda a visualização do percurso da ferramenta através dos eixos XY, XZ e YZ permitindo-nos uma percepção total do caminho percorrido pela ferramenta. Têm-se, também recurso de “zoom” que permite a ampliação de detalhes do percurso.

O custo total para o desenvolvimento deste protótipo foi de aproximadamente R\$ 18.000,00 considerando uma bolsa de mestrado de R\$ 750,00 mensais por um período de 24 meses

O objetivo original deste trabalho, de elaborar e validar uma ferramenta computacional para a geração de programas CNC, a baixo custo, para centros de usinagem, tendo como base o comando MACH9MP da ROMI foi plenamente alcançado.

Pelo exposto neste trabalho, pode-se recomendar, que empresas que ainda não possuem um sistema CIM podem investir em tecnologias de baixo custo com excelentes resultados em manufatura.

6.2 – TRABALHOS FUTUROS

Como este trabalho não tem a pretensão de ter esgotado o tema, a pesquisa continua no sentido de desenvolver uma interface que permita ampliar a usabilidade necessária ao ambiente de usinagem . Pode-se enriquecê-lo de diversas maneiras agregando novos módulos. Nesta direção são apresentadas as seguintes sugestões:

- Desenvolvimento de novos pós-processadores para diferentes comandos
- Elaboração de módulo de simulação em 3D;
- Serviço de cálculo de tempo de processo ;
- Integração a outros bancos de dados de usinagem como informações sobre ferramentas e sobre dispositivos;
- Importação de arquivos de desenhos de sistemas CAD.

REFERÊNCIAS:

1. BESANT, C.B. **CAD/CAM** – Projeto e fabricação com o Auxílio do Computador, Rio de Janeiro, Campus, 1986, 249p
2. BUDDE, W. **EXAPT in NC Operations Planning**, 10ª Conferência Anual Sociedade Controle Numérico, 1973.
3. CANGIGLIERI, O.J. **Product Model Based Translation Mechanism To Support Multiple Viewpoints In The Design For Manufacture Of Injection Molded Products**, 459p, Tese (Doutorado), Universidade Loughborough, 1999.
4. CAMPBELL, J. **RS-232 Técnicas de Interface**. São Paulo, Editora Brasileira, 1992, 158p.
5. COSTA, D.D da. **Análise da Competitividade do Setor de Usinagem no Estado do Paraná**, Máquinas e Metais, v.426, julho de 2001.
6. COUTINHO, L.; FERRAZ J.C.; **Estudo da Competitividade da Indústria Brasileira**, M.R. Cornacchia Ltda, 1995.
7. DE GARMO, E.; **Materials and Processes in Manufacturing**, USA, Prentice-Hall, 1997.
8. DONALDSON, D., **The DRO You Wear**, disponível em <<http://www.mmsonline.com/articles.0701rt3.htm>> , acesso em 03 de março de 2003.
9. EDWARDS, S., **What to Expect of a General Post Processor**, 23rd annual technical conference of association for integrated manufacturing, Minneapolis, p183-190, maio de 1986.

10. EVERSHEIN, W. et al. **Information Modelling for Technology-Oriented Tool Selection**, Annals of the CIRP vol. 43, nº 1, p429-432, 1994.
11. FANUC, GE, **CNC de Arquitetura Aberta**, disponível em <http://www.gefanuc.com.br/gefanucBrasil.htm>, acesso em 03 de março de 2003.
12. GONÇALVES, R.J. **Quantas são e onde estão as máquinas-ferramenta no Brasil**, Máquinas e Metais, v.431, p22-49, dezembro de 2001.
13. GREGOIRE, J.C. **Putting Intelligence in the CNC**, IEEE IECON, p4-8, 1987.
14. HERNDON, L.R. **RS-494: The New Standard Input Format for NC Machines**, 21st meeting and technical conference of numerical control society, p236-240, Long Beach, CA, março de 1984.
15. HEUCHEMER, B. **Para um Ambiente de Manufatura Verdadeiramente Aberto**, disponível em http://www.mmsonline.com.br/para_um_ambiente_de_manufatura_verdadeiramente_aberto.htm, acesso em 03 de março de 2003.
16. HOUTEN, F.J.A.M. **PART: A Computer Aided Process Planning System**. Netherlands, Febodruk, 1991, 228p.
17. JIANG, B. et al. **An Automatic Process Planning System for the Quick Generation of Manufacturing Process Planning Directly from CAD Drawings**, Journal of Materials Processing Technology, n. 87, p97-106, 1999.
18. LEITE, J.C. **Modelos e Formalismos para a Engenharia Semiótica de Interface do Usuário**, Rio de Janeiro, Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Tese (doutorado), 1998.

19. LEPIKSON, H. A. **Padronização e Interação das Unidades de fabricação, Inspeção e Manipulação de uma Célula Flexível de Manufatura**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 210p, Dissertação (Mestrado), 1990.
20. MACHADO, A. **Comando Numérico Aplicado a Máquinas - ferramenta**. São Paulo, Ícone, 1990, 396p.
21. MÁQUINAS E METAIS, **A Oferta de Fresadoras CNC**, v.398, p38-47, março de 1999.
22. MASTELARI, N. **Desenvolvimento de um Editor/Simulador para Centros de Torneamento CN**. Campinas, 100p, Universidade Estadual de Campinas, Dissertação (Mestrado), 1996.
23. MORAN, T. **The Command Language Grammars: A Representation for the user interface of interactive Computer Systems**. International Journal of Man Machine Studies, v.15, p3-50, 1981.
24. PORTER, M. **The Competitive Advantage of Nations**, New York, Free Press, 1990.
25. PRADO, A.B.; BARANAUSKAS, M.C.C. **Avaliando a Metacomunicação Designer-Usuário de Interface**. Atas do III workshop sobre fatores humanos em sistemas computacionais. IHC 2000, Unisinos, Rio Grande do Sul, 2000.
26. PRESSMAN, Roger S. WILLIAMS, J. E. **Numerical Control and Computer Aided Manufacturing**, USA, John Wiley & Sons, 1977, 307p.
27. PRESTON, Edward J. CRAWFORD, George W. COTICCHIA, Mark E. **CAD/CAM Systems: Justification, Implementation, Productivity Measurement**. New York, Marcel Dekker, 1984, 358p.

- 28.ROMANI, L.A.S. BARANAUSKAS, M.C.C.; **Avaliação Heurística de um Sistema Altamente Dependente do Domínio**. Relatório Técnico, Instituto de Computação, UNICAMP, 1998
- 29.ROMI, **Manual de Programação e Operação CNC MACH9MP**, Santa Bárbara D`oeste, [1985],185p.
- 30.SENAI, RJ. **Manufatura Integrada por Computador**. Rio de janeiro, Campus, 1985, 450p.
- 31.SHAH, J. J. **Features in Design and Manufacturing in Intelligent Design and Manufacturing** – editado por Kusiak, A., John Wiley & Sons, 1992.
- 32.SHENG, P. SRINIVASAN, M. **Features-based Process Planning for Environmentally Conscious Machining – Part 1: Micro planning, Robotics and Computer Integrated Manufacturing**, Vol. 15, p257-270.
- 33.SMID, P. **CNC Programming Handbook**, New York, Industrial Press, 2000, 620p.
- 34.SMITH, M.H. **The New Role of CNC in Computer Integrated Manufacturing**, 22nd annual technical conference of association for integrated manufacturing, St Louis, p136-146, maio de 1985.
- 35.SOUZA, C.S. de. LEITE, J.C. PRATES, R.O, BARBOSA, D.J. **Projeto de Interfaces de Usuário – Perspectivas Cognitivas e Semióticas**. Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999
- 36.STEMMER, GASPAR E. **Estágio Atual do Comando Numérico no Brasil**, São Paulo, Revista Máquinas e Metais, v.190, maio 1981.

37. STEPHENS, Rod. **Visual Basic Graphics Programming: hands-on applications and advanced color development**, USA, John Wiley & Sons, 2002, 840p.
38. TELLES, Geraldo Nonato. **Desenvolvimento de um Editor/Simulador para tornos a Controle Numérico**. São Paulo, 34p Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade de Campinas, Dissertação (Mestrado), 1985.
39. WITTE, H., **Máquinas Ferramenta – Elementos Básicos de Máquinas e Técnicas de construção**, São Paulo, Hemus, 1998, p251-284.